

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Simulace světelně řízené křižovatky

Simulation of Light Controlled Crossroad

Student: Lukáš MÝDLO

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal DORDA, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Mýdlo**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 20 Pozemní doprava  
Téma: **Simulace světelně řízené křižovatky**  
**Simulation of Light Controlled Crossroad**

Zásady pro vypracování:

**Cíl práce:** Cílem práce je vytvořit v prostředí Witness simulační model vybrané světelné křižovatky a na základě reálných dat z provozu tento model validovat.

### Osnova práce:

1. Úvod.
2. Teorie světelného řízení křižovatek.
3. Analýza dat potřebných pro simulaci.
4. Tvorba simulačního modelu v prostředí Witness.
5. Validace simulačního modelu.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

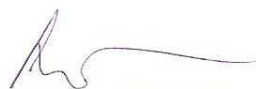
*Technické podmínky TP 81 - Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu.*  
Brno: Centrum dopravního výzkumu. 1996. 111 s. ISBN 80-902141-2-6.  
MEDELSKÁ, V. a kol. *Dopravné inženýrstvo.* Bratislava: Alfa Bratislava. 1991. ISBN 80-05-00737-X.  
*Manuály k simulačnímu software Witness.*

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Dorda, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 23. května 2011

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 23. května 2011

.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš MÝDLO

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Rezkova 4, Ostrava – Jih, 70030

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalovi Dordovi, Ph.D. za cenné informace a čas, který mi poskytl při vypracování této práce. Také bych chtěl poděkovat Ing. Miroslavovi Laštůvkovi z Ostravských komunikací, a.s. za poskytnuté materiály a konzultace.

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

MÝDLO, L. *Simulace světelně řízené křižovatky: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011, 45 s. Vedoucí práce: Dorda, M.

Bakalářská práce se zabývá simulací světelně řízené křižovatky. Cílem této práce je vytvořit v prostředí Witness simulační model vybrané světelné křižovatky a na základě reálných dat z provozu tento model validovat. Práce se skládá z několika částí. Úvodní část práce se věnuje popisu vybrané křižovatky a dopravnímu průzkumu, který byl na této křižovatce proveden. Druhá část se zaměřuje na sestavení modelu. Třetí část práce je věnována validaci a provedeným experimentům. V závěrečné části jsou zhodnoceny výsledky, ke kterým se v této práci dospělo.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

MÝDLO, L. *Simulation of Light Controlled Crossroad: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical Engineering, Institute of Transport, 2011, 45 p. Thesis head: Dorda, M.

The Bachelor Thesis deals with simulation of light controlled crossroad. The aim of this work is to create a simulation model of a selected light controlled crossroad in Witness and then on the basis of real traffic data to validate this model. The work is composed of some parts. The introduction concerns a description of selected crossroad and traffic survey, which has been carried out. The second part is focused on the model composition. The third part concerns the validation and experiments, which have been carried out. The last part is review of outcomes to which was come to in this work.

## Obsah bakalářské práce

	Seznam použitých značek a symbolů .....	8
1	Úvod.....	9
2	Teorie světelného řízení křižovatek .....	10
2.1	Formulace křižovatky a její rozdělení .....	10
2.2	Návěstidla, světelné signalizační zařízení a druhy světelných signálů.....	12
2.3	Fáze a fázové schéma .....	13
2.4	Mezičasy .....	14
2.5	Signální plán .....	15
3	Analýza dat potřebných pro simulaci .....	16
3.1	Umístění křižovatky .....	16
3.2	Situační schéma .....	17
3.3	Popis křižovatky .....	18
3.4	Dopravní průzkum .....	22
3.5	Fázové schéma a signální plán.....	24
4	Tvorba simulačního modelu v prostředí Witness .....	27
4.1	Základní části programu Witness .....	27
4.2	Model křižovatky .....	32
5	Validace simulačního modelu.....	38
6	Experiment.....	40
6.1	Teorie exponenciálního a Erlangova rozdělení .....	40
6.2	Provedené změny v simulačním modelu .....	42
6.3	Výsledky experimentu závislé na parametru tvaru $k$ .....	43
6.4	Odhady parametrů základního souboru .....	44
6.5	Postup výpočtu a výsledné hodnoty oboustranného intervalu.....	48
6.6	Srovnání experimentů zanesením hledaných charakteristik do grafů .....	50
7	Závěr .....	53
	Seznam použité literatury .....	55
	Seznam příloh .....	56

## Seznam použitých značek a symbolů

a.s.	Akciová společnost
$\alpha$	Hladina významnosti [-]
č.	Číslo
ČSN	Česká státní norma
DX	Momentová charakteristika variability [-]
ERLANG	Příkaz pro generování hodnot Erlangova rozdělení
EX	Momentová charakteristika polohy [-]
F(t)	Distribuční funkce [-]
f(t)	Hustota pravděpodobnosti [-]
FIFO	Řádný frontový režim
I	Intenzita vozidel [min/voz]
k	Parametr tvaru [-]
$\lambda$	Parametr měřítka [-]
MHD	Městská hromadná doprava
$\mu$	Střední hodnota, pro kterou se stanovuje odhad [-]
n	Rozsah souboru [-]
NORMSINV	Funkce v programu Excel
PZ	Průměrné zdržení [s]
s	Výběrová směrodatná odchylka [-]
Sb.	Sbírka
SSZ	Světelné signalizační zařízení
$\sigma$	Směrodatná odchylka normálního rozdělení [-]
T <sub>D</sub>	Dolní mez konfidenčního intervalu [voz], [s]
T <sub>H</sub>	Horní mez konfidenčního intervalu [voz], [s]
TOTALIN	Funkce v programu Witness
TP	Technické podmínky
$\theta$	Neznámý parametr [-]
voz	Vozidlo
VPZ	Výsledné průměrné zdržení [s]
X	Náhodná veličina
$\bar{x}$	Výběrový průměr [-]



# 1 Úvod

V současném světě s rostoucím počtem vozidel se také zákonitě zvyšují intenzity vozidel nejen na pozemních komunikacích, ale také na křižovatkách. Tam se pak shromažďují v ovzduší škodlivé výfukové plyny, vznikají zpoždění a dochází k nadměrnému zatížení vozovky. Je žádoucí navrhovat takové křižovatky, aby se tyto negativní vlivy minimalizovaly. Za tímto účelem se provádí na křižovatkách určité dopravní průzkumy vedoucí k odstranění těchto negativních vlivů.

V této bakalářské práci je úkolem vytvořit simulační model vybrané světelné křižovatky a na základě reálných dat z provozu tento model validovat. Než se přistoupí k vytvoření samotného modelu, tak je nutné zjistit potřebné údaje o vybrané křižovatce. Jedná se o křižovatku Plzeňská x Mitrovická, která se nachází v Ostravě. Za tímto účelem, byl na této křižovatce proveden dopravní průzkum. Jeho účelem bylo zjistit dopravně – stavební uspořádání křižovatky, intenzitu vozidel v řadících pruzích za určitý časový interval a průměrný počet vozidel za určitý časový interval stojících za sebou, před daným signalizačním zařízením při rozsvícení signálu dovolující jízdu vozidel. Dopravně – stavební uspořádání křižovatky a data získaná dopravním průzkumem umožňují sestavit a validovat samostatný model. Model je vytvořen v programu Witness, což je nástroj pro simulaci obslužných a logistických procesů.

Závěrečná fáze této práce má za úkol srovnat naměřené hodnoty s hodnotami simulačními, které byly získány jako výstupy ze simulačního modelu sestaveného v programu Witness a ověřit, zda dosažené výsledky vyjadřují uspokojivou míru shody s reálnou situací na křižovatce. Také jsou v této fázi popsány experimenty věnované vlivu charakteru vstupního toku vozidel na sledované charakteristiky a zjištění mezí oboustranného intervalového odhadu.

## 2 Teorie světelného řízení křižovatek

V této kapitole jsou popsány základní pojmy týkající se křižovatek, jejich rozdělení, řízení, co znamená pojem návěstidlo, světelné signalizační zařízení a signální plán spolu s dalšími určenými pojmy.

### 2.1 Formulace křižovatky a její rozdělení

Při zpracování této podkapitoly bylo vycházeno z [1] Křivda, V. Základy organizace a řízení silniční dopravy. Níže je z tohoto skriptu uvedeno několik základních pojmů.

Křižovatka je místo, v němž se pozemní komunikace v půdorysném průmětu protínají nebo stýkají a alespoň dvě z nich jsou vzájemně propojeny. Za křižovatku se nepovažuje připojení lesních a polních cest, sjezdy k nemovitostem a připojení obslužných dopravních zařízení (čerpací stanice, parkoviště, apod.).

Křížení je místo, v němž se pozemní komunikace v půdorysném průmětu protínají, aniž jsou vzájemně propojeny, nebo místo, v němž se pozemní komunikace v půdorysném průmětu protíná s drážní komunikací (mimoúrovňové křížení dálnice se silnicí či polní cestou, železniční přejezdy, apod.).

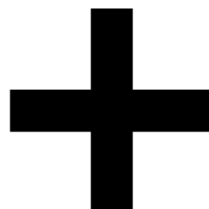
Křižovatky můžeme dělit podle několika hledisek. Podle počtu ramen můžeme křižovatky rozdělit na:

- a) křižovatky stykové – tříramenná křižovatka ve tvaru písmene T (obr. č. 2.1),



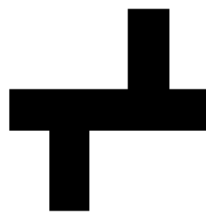
Obr. č. 2.1 Tvar křižovatky stykové

- b) křižovatky průsečné – čtyřramenná křižovatka ve tvaru písmene X (obr. č. 2.2),



Obr. č. 2.2 Tvar křižovatky průsečné

- c) křižovatky odsazené – čtyřramenná křižovatka s dvěma stykovými křižovatkami umístěné v určité vzdálenosti od sebe (obr. č. 2.3),



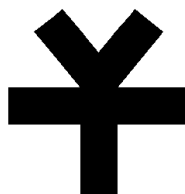
**Obr. č. 2.3 Tvar křižovatky odsazené**

- d) křižovatky vidlicové – tříramenná křižovatka ve tvaru písmene Y (obr. č. 2.4),



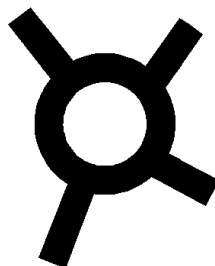
**Obr. č. 2.4 Tvar křižovatky vidlicové**

- e) křižovatky hvězdicové – pěti a víceramenná křižovatka (obr. č. 2.5),



**Obr. č. 2.5 Tvar křižovatky hvězdicové**

- f) křižovatka okružní – tři a víceramenná křižovatka se středním ostrovem kruhového tvaru (obr. č. 2.6).



**Obr. č. 2.6 Tvar křižovatky okružní**

Podle počtu úrovní, ve kterých se komunikace protínají, dělíme křižovatky na:

- a) křižovatky úrovňové – komunikace se protínají v jedné úrovni (mohou obsahovat křižné, přípojně, odbočné nebo průletové kolizní body),
- b) křižovatky mimoúrovňové – komunikace se protínají ve dvou a více úrovních (neobsahují křižné kolizní body),
- c) křižovatky kombinované – komunikace se protínají ve dvou a více úrovních (mohou obsahovat křižné kolizní body).

Podle přítomnosti či absence světelného signalizačního zařízení, rozdělujeme křižovatky na:

- a) křižovatky neřízené,
- b) křižovatky řízené.

## **2.2 Návěstidla, světelné signalizační zařízení a druhy světelných signálů**

Návěstidlo je technický prostředek nebo zařízení, které slouží k předání návěsti. Návěstidla pro řízení silničního provozu a světelné signály se dělí podle vyhlášky č. 30/2001 Sb. Použití a umístění návěstidel stanovuje norma ČSN 73 6021 a technické podmínky TP 81.

Světelné signalizační zařízení je soustava vzájemně závislých návěstidel určených k řízení provozu na pozemních komunikacích pomocí světelných signálů. Skládá se obvykle z řadiče, z návěstidel s nosnými konstrukcemi, z kabelového rozvodu a z příslušenství (detektory, ruční řízení atd.). SSZ jsou užívána především na křižovatkách pozemních komunikací nebo tramvajových drah a v prostorech společného styku, v místech přechodu pro chodce nebo přejezdů pro cyklisty přes pozemní komunikaci nebo tramvajovou dráhu, v zúžených místech nebo jízdních pruzích se střídavým provozem, k vytváření časového ostrůvku, ale i v jiných prostorech. Speciální signály jsou užívány například k výjezdu hasičských vozidel nebo k zabezpečení železničních přejezdů. [2]

### **Druhy světelných signálů**

Světelné signály se zobrazují na návěstidlech. Druhy a rozdělení návěstidel odpovídají druhům a rozdělení signálů. Pro řízení provozu na pozemních komunikacích se rozlišují světelné signály pro vozidla a světelné signály pro vymezený okruh účastníků provozu na pozemních komunikacích.

Světelné signály pro vozidla jsou:

- a) signály tříbarevné soustavy:
  - s plnými kruhovými světly (plné signály) č. S 1a až č. S 1c,
  - se světly se směrovými šipkami (směrové signály) č. S 2a až č. S 2c nebo č. S 3a až č. S 3C,
- b) signál přerušovaného žlutého světla č. S 7,
- c) signál doplňkové zelené šipky č. S 5,
- d) signál pro opuštění křižovatky č. S 6,
- e) signál přerušovaného žlutého světla ve tvaru chodce č. S 7 (tvar podle signálu č. S 4),

- f) signál přerušovaného žlutého světla ve tvaru cyklisty č. S 7 (tvar podle signálu č. S 10b),
- g) signál přerušovaného žlutého světla ve tvaru cyklisty a chodce č. S 7 (tvar podle signálu č. S 11b),
- h) signál žlutého světla ve tvaru chodce č. S 4,
- i) signál žlutého světla ve tvaru cyklisty č. S 4 (tvar podle signálu č. S 10b),
- j) signál žlutého světla ve tvaru cyklisty a chodce č. S 4 (tvar podle signálu č. S 11b),
- k) rychlostní signál č. S 12a nebo č. S 12b,
- l) signál pro řízení provozu v jízdním pruhu se střídavým směrem jízdy č. S 1a až č. S 1c nebo č. S 1a až č. S 1c,
- m) signály účelové:
  - signál dvoubarevné soustavy s červeným a žlutým světlem (účelová signalizace) č. S 1a a č. S 1b,
  - signál dvou vedle sebe umístěných střídavě přerušovaných červených světél č. S 13 pro zajištění nekolizního výjezdu vozidel s právem přednostní jízdy na pozemní komunikaci,
  - signály pro řízení provozu v jednom jízdním pruhu č. S 8a až č. S 8e.

Světelné signály pro vymezený okruh účastníků jsou:

- a) signály pro chodce č. S 9a a č. S 9b nebo č. S 11a až č. S 11c,
- b) signály pro tramvaje č. S 15a až č. S 15g,
- c) signály pro cyklisty č. S 10a až č. S 10c nebo č. S 11a až č. S 11c. [2]

## 2.3 Fáze a fázové schéma

Pro vypracování následujících podkapitol bylo čerpáno z technických podmínek [2] Technické podmínky TP81 – Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu. Níže je z těchto podmínek uvedeno několik základních pojmů, které budou v práci dále užívány.

Pojem fáze značí časový interval, v němž mají současně volno určité, zpravidla vzájemně nekolizní dopravní pohyby na křižovatce. Při dopravním řešení SSZ je nezbytné určit tzv. fázové schéma, tj. přiřazení dopravních pohybů jednotlivým fázím a nejvýhodnější pořadí fází. Při návrhu schématu fází se vychází z několika bodů: situačního řešení a z geometrických poměrů na křižovatce, z organizace dopravy a z intenzit provozu.

Při návrhu fází jsou rozlišovány kolizní, bezkolizní a podmíněně kolizní dopravní pohyby. Počet fází plyne z rozdělení fází, tj. rozhodnutí o rozčlenění dopravních pohybů na křižovatce. Minimální počet fází, jenž řídí dopravu SSZ na křižovatce, jsou fáze dvě. Odbočující dopravní proudy však nejsou oproti přímým směrům bezkolizní. Dokonale bezkolizní řízení všech dopravních proudů na čtyřramenné křižovatce má minimálně čtyři fáze, na tříramenné nejméně tři fáze.

Přednost při navrhování má jednoduché dvoufázové řízení. Vícefázové řízení snižuje kapacitu křižovatky, zvyšuje ztrátové časy a prodlužuje zdržení vozidel. Z těchto důvodů se doporučuje jejich navrhování omezit na nezbytnou míru, zvláště tam, kde je to vzhledem k bezpečnosti dopravy, intenzitám jednotlivých dopravních proudů nebo vzhledem k dopravním poměrům nutné a kde není jednodušší řešení dostačující. Vícefázové řízení může být nutné také na křižovatce, jež je provozně zcela jednoduchá, ale je zařazena do zelené vlny.

Pořadí fází při řízení křižovatky bývá ovlivňováno různými faktory:

- určité fáze musí probíhat za sebou, aby na sebe plynule navazovaly signály volno, které jsou v těchto fázích,
- určité dopravní směry musí následovat po sobě, aby na křižovatce nevznikalo zdržení z důvodu nakupení vozidel,
- pořadí fází může být ovlivněno požadovaným sledem dob signálů volno pro chodce nebo cyklisty,
- pořadí fází může určovat požadavek koordinace signálních plánů sousedních křižovatek nebo preference vozidel MHD.

## 2.4 Mezičasy

Mezičasem se rozumí časový interval od konce signálu volno signální skupiny po začátek signálu volno kolizní signální skupiny. V této době musí poslední (vyklizující) vozidlo projíždějící v končící době signálu bezpečně opustit kolizní plochu dříve, než první (najíždějící) vozidlo jedoucí v době signálu volno v kolizním směru této kolizní plochy dosáhne.

Kolizní dopravní pohyby jsou ty vzájemné pohyby vozidel nebo vozidel a chodců na místech řízených SSZ, které se střetávají, kříží nebo připojují. Kolizní plocha je ta část plochy komunikace, kde se dráha vyklizujícího vozidla nebo chodce střetává s dráhou najíždějícího vozidla nebo chodce. Kolizní plocha je různá pro každou dvojici kolizních dopravních proudů.

Správné určení mezičasů má zásadní význam pro bezpečnost při řízení provozu světelnými signály a je proto nezbytné věnovat jejich stanovení maximální pozornost.

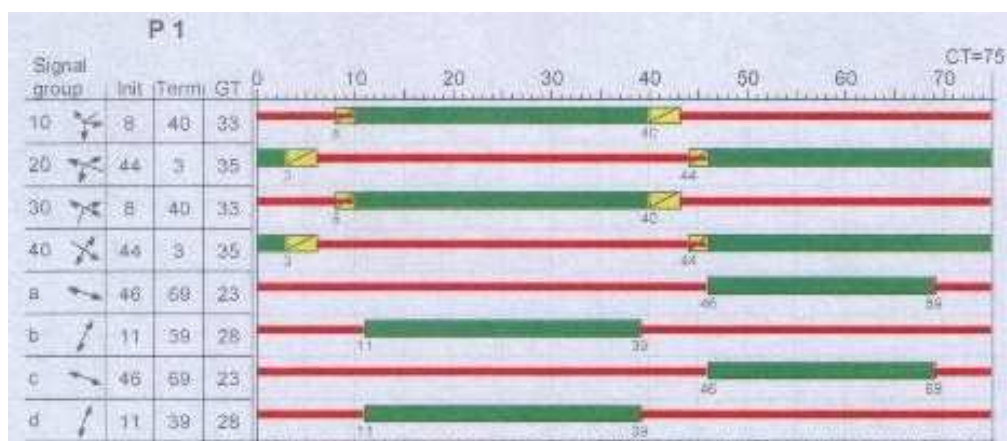
## 2.5 Signální plán

Signálním plánem se řídí světelná signalizační zařízení, jde o program, který určuje pořadí a délku signálů volno jednotlivých signálních skupin. Signální skupina je soubor signálních ploch (návěstidel), které zobrazují v každém okamžiku stejný signální obraz pro jeden vjezd vozidel nebo vstup chodců na jeden přechod pro chodce. Signální skupinu může tvořit i jediné návěstidlo. Signální plán je zpracováván graficky a znázorňuje signální obrazy jednotlivých signálních skupin pro veškeré účastníky provozu.

Návrh signálního plánu má několik kroků spolu vzájemně souvisejících, které se ovlivňují a tudíž se zpracovávají ve vzájemném souladu (schéma fází, délky cyklu řízení, doby jednotlivých fází).

Koncept schématu fází vyplývá z intenzit jednotlivých druhů dopravy, je ovlivněn prostorovými možnostmi i uspořádáním křižovatek a pravidly provozu na pozemních komunikacích. Správné zvolení délky cyklu je úzce spjato s kapacitou křižovatky a časovou ztrátou dílčích účastníků provozu na křižovatce. Důležité je hledisko bezpečnosti. V tomto ohledu má zásadní význam správný výpočet mezičasů. Pro výpočet dob signálů volno a rozvržení v rámci cyklu lze použít několik metod (saturovaného toku, spotřeby času, iterace, ...).

Návrh pevného signálního plánu je výsledkem provozně technických výpočtů světelné signalizace. Při dopravně závislém řízení je potřeba ještě určit nezbytné časové a logické vazby. Na obr. č. 2.7 lze vidět příklad signálního plánu.



Obr. č. 2.7 Příklad signálního plánu [3]

### 3 Analýza dat potřebných pro simulaci

V této kapitole je popsáno, kde se řešená křižovatka nachází a její podrobný popis. Dále je zde zmíněno, jakým signálním plánem je daná křižovatka řízena a v neposlední řadě jsou v této kapitole uvedeny výsledky provedeného dopravního průzkumu, které jsou potřeba pro samotnou simulaci.

#### 3.1 Umístění křižovatky

Vybraná křižovatka č. 3045 leží na rozhraní obvodu Stará Bělá a Nová Bělá v Ostravě, jedná se o křižovatku, jež křižuje místní pozemní komunikaci první třídy I/58 Plzeňská a místní pozemní komunikaci druhé třídy II/478 Mitrovická. Na obr. č. 3.1 je zobrazena daná křižovatka. Tato křižovatka spadá pod správu Ostravských komunikací, a.s.



Obr. č. 3.1 Umístění křižovatky [4]

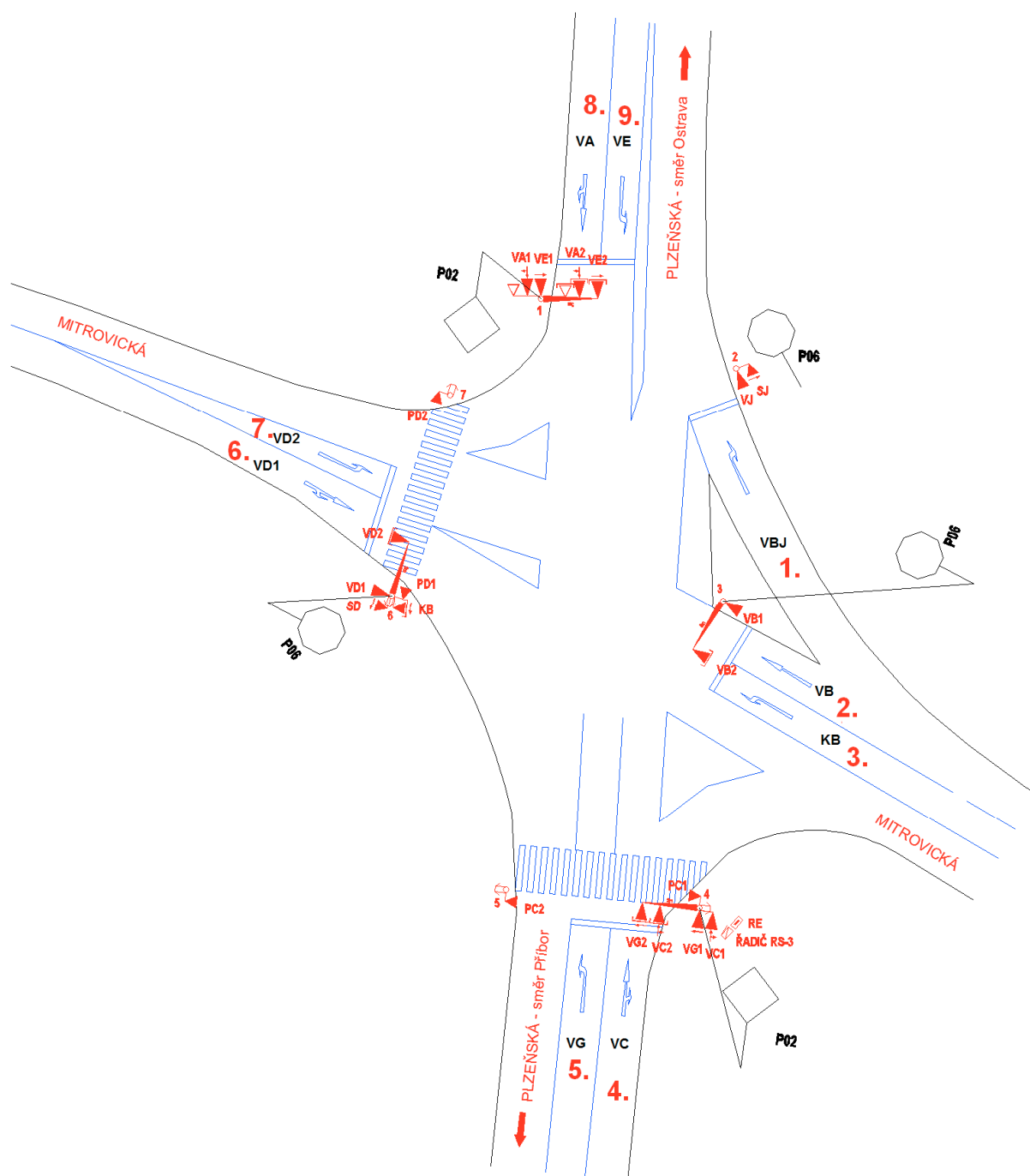
Tato křižovatka je významnou spojnici mezi centrem Ostravy s Krmelínem, kde silnice první třídy I/58 pokračuje do Příboru a zde se napojuje na rychlostní komunikaci E462.

Kdybychom měli zdejší křižovatku zařadit dle jednotlivých kritérií, jedná se o křižovatku úrovnovou, světelně řízenou, podle počtu ramen jako průsečnou se čtyřmi rameny.



### 3.2 Situační schéma

Na obr. č. 3.2 lze vidět upravené situační schéma řešené křižovatky s vodorovným a svislým dopravním značením. Jednotlivé řadící pruhy jsou označeny (např. VA, VE, atd.) a očíslovány, z důvodu snadnější orientace v samotném modelu.



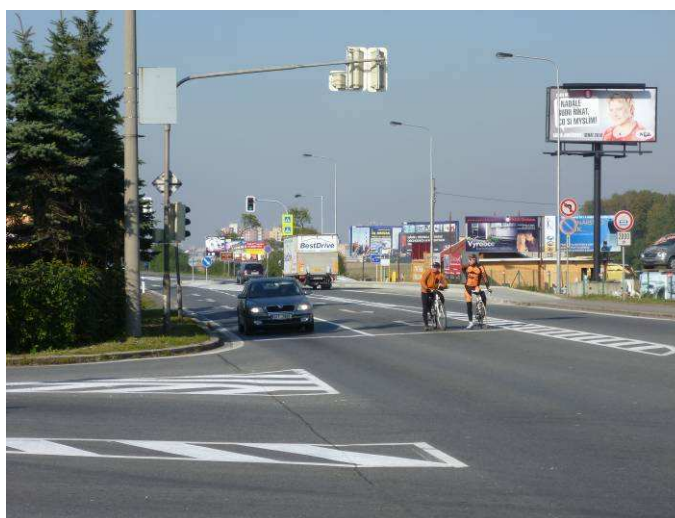
Obr. č. 3.2 Situační schéma řešené křižovatky [5]

### 3.3 Popis křižovatky

Pozemní komunikace Plzeňská ve směru od centra do Krmelína viz obr. č. 3.3 a obr. č. 3.4 je rozdělena do dvou jízdních pruhů. Pruh, který je označen v situačním schématu „VA“, slouží k odbočení vpravo na ulici Mitrovická, která pokračuje do Staré Bělé. Dále umožňuje jízdu v přímém směru po stejnojmenné komunikaci na Krmelín. Druhý pruh, který je označen „VE“, slouží k odbočení vlevo, tudíž na ulici Mitrovická do Nové Bělé. Světelné signalizační zařízení se v tomto místě skládá z jednoho výložíku se čtyřmi návěstidly zobrazujícími signály tříbarevné soustavy se světly se směrovými šipkami (č. S 2a až č. S 2c) a ze dvou návěstidel upozorňujících řidiče, kteří odbočují vpravo, na chodce. Jde o hlavní pozemní komunikaci, na výložíku se nachází dopravní značka upravující přednost – Hlavní pozemní komunikace (č. P02).



Obr. č. 3.3 Plzeňská od centra



Obr. č. 3.4 Pohled na rameno Plzeňská od centra

Pozemní komunikace Mitrovická ve směru ze Staré Bělé viz obr. č. 3.5, obr. č. 3.6 je tvořena ze dvou jízdních pruhů. První pruh umožňuje odbočení vlevo na ulici Plzeňská, pokračující ve směru na centrum. Tento jízdní pruh je označen v situačním schématu „VD2“. Vozidla odbočující v tomto jízdním pruhu musí dávat ze zákona podle pravidel silničního provozu přednost vozidlům, která vjíždí do křižovatky z protisměru Nová Bělá, jedoucí v jízdním pruhu „VB“ a zároveň musí dávat ze zákona přednost vozidlům, která rovněž vjíždí do křižovatky z protisměru, jedoucí v jízdním pruhu „VBJ“, který pokračuje směr centrum. Druhý pruh, který je označený „VD1“, dovoluje přímou jízdu po ulici Mitrovická do Nové Bělé a také slouží pro odbočení na ulici Plzeňskou směr Krmelín. Na zdejším rameni se nachází jeden výložník se dvěma návěstidly, používající signály tříbarevné soustavy s plnými kruhovými světly (č. S 1a až č. S 1c) a návěstidlo pro zobrazení signálu doplňkové zelené šipky (č. S 5). Jelikož se jedná o vedlejší pozemní komunikaci, je výložník ještě osazen dopravní značkou upravující přednost – Stůj, dej přednost v jízdě (č. P06).

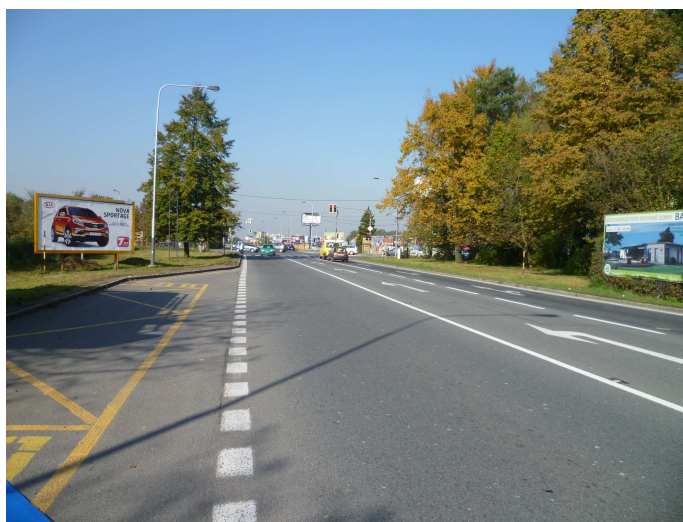


**Obr. č. 3.5 Mitrovická od Staré Bělé**



**Obr. č. 3.6 Pohled z křižovatky na komunikaci Mitrovická**

Další rameno – pozemní komunikace Plzeňská směr centrum dovoluje jízdu třemi směry. Křižovatka je zobrazena na obr. č. 3.7 a obr. č. 3.8. Skládá se ze dvou jízdních pruhů. Pro odbočení vlevo je vyhrazen pruh „VG“. Z daného pruhu vozidla mohou odbočit na ulici Mitrovická, která pokračuje do Staré Bělé. Jízdní pruh „VC“ slouží pro přímý směr na ulici Plzeňská směr centrum nebo pro odbočení vpravo na ulici Mitrovická směr Nová Bělá. Na tomto rameni je jeden výložík se čtyřmi návěstidly zobrazující signály tříbarevné soustavy se světly se směrovými šipkami (č. S 2a až č. S 2c). Jedná se o hlavní pozemní komunikaci, tudíž se na výložíku ještě nachází dopravní značka upravující přednost – Hlavní pozemní komunikace (č. P02).



**Obr. č. 3.7 Plzeňská od Krmelína**





**Obr. č. 3.8 Pohled na rameno Plzeňská od Krmelína**

Pozemní komunikace Mitrovická ze směru z Nové Bělé je rozčleněna do tří jízdních pruhů. Tyto jízdní pruhy lze vidět na obr. č. 3.9 a obr. č. 3.10. Pruh, který umožňuje odbočení vpravo směrem do centra po ulici Plzeňská, je označen písmeny „VBJ“. Pruh dovolující jízdu přímo má označení „VB“ a tento pruh pokračuje po ulici Mitrovická do Staré Bělé. Pro odbočení vlevo na ulici Plzeňskou směr Krmelín, slouží pruh „KB“. Nesvítí – li vozidlům v tomto jízdním pruhu světelný signál pro opuštění křižovatky, tak jsou tato vozidla povinna ze zákona o pravidlech silničního provozu dávat přednost vozidlům jedoucím ze směru „VD1“. Všechna tři označení vyplývají opět ze situačního schématu. Světelné signalizační zařízení na tomto rameni se skládá ze dvou výložíků. První výložík je pro řadící pruhy „VB“ a „KB“ a má dvě návěstidla používající signály tříbarevné soustavy s plnými kruhovými světly (č. S 1a až č. S 1c). Dále je tento výložík osazen dopravní značkou upravující přednost – Stůj, dej přednost v jízdě (č. P06). V protilehlém rohu křižovatky je umístěn světelný signál pro opuštění křižovatky (č. S 6). Druhý výložík, s jedním návěstidlem používající signály tříbarevné soustavy s plnými kruhovými světly (č. S 1a až č. S 1c) a návěstidlem pro zobrazení signálu doplňkové zelené šipky (č. S 5), slouží pro řadící pruh „VBJ“. Vedle druhého výložíku je umístěna dopravní značka upravující přednost – Stůj, dej přednost v jízdě (č. P06).



Obr. č. 3.9 Mítrovická od Nové Bělé



Obr. č. 3.10 Pohled z křižovatky na komunikaci Mítrovická

### 3.4 Dopravní průzkum

Průzkumy v dopravě jsou důležitou součástí při dopravním plánování, projektování a modernizování pozemních komunikací, křižovatek apod. Prostřednictvím těchto dopravních průzkumů vyšetřujeme počty dopravních prostředků, chodců, či cyklistů zatěžující svým provozem konkrétní pozemní komunikace či dopravní plochy. Můžeme sledovat jejich směr pohybu, dále nás zajímá složení dopravního proudu, kvalitu provozu apod. [1]

Účelem měření bylo zjistit intenzitu a složení dopravních proudů. Všechny hodnoty potřebné pro simulaci byly zjištěny na základě vlastního pozorování. Jelikož se jedná o čtyřramennou křižovatku, byla zvolena 4 sčítací stanoviště. Nejdříve bylo nutné zjistit intenzity vozidel v daných směrech. Do měřicího archu byly zapisovány intenzity vozidel v

jednotlivých proudech co každé 2 minuty po dobu 60 minut. V průzkumu se rozlišoval druh vozidla a to z důvodu odlišných vstupních časů. Vstupní čas je v této práci chápán jako čas, udávající průměrné rozestupy mezi vozidly na úrovni stopčáry při rozsvícení signálu volno. Pro osobní vozidla byl uvažován vstupní čas 2 sekundy, pro nákladní vozidla 4 sekundy. Pojmem osobní vozidla se rozumí všechna vozidla nepřesahující celkovou hmotnost do 3,5 tuny. Vozidla, která překračují tuto hmotnost, jsou označena jako nákladní vozidla. Výsledný poměr mezi nákladními a osobními vozidly se vypočítá jako součet všech nákladních vozidel v daném řadícím pruhu za interval 60 minut podělený součtem všech vozidel v daném řadícím pruhu za tentýž interval. S proměnnou poměr je pak pracováno v modelu při rozlišení druhu příjíždějícího vozidla ke křižovatce. Dále byla do měřicího archu zaznamenávána průměrná fronta. Pod tímhle pojmem se rozumí průměrný počet vozidel v daném jízdním pruhu, stojících za sebou při rozsvícení signálu volno. Měření probíhalo ve třech dnech a to 30.9. 2010 (čtvrtek), 13.10. 2010 (středa), 26.10. 2010 (úterý). Čas měření byl od 13:30 do 14:30 hod. Z těchto tří měření byla potom vypočítána průměrná hodnota pro daný řadící pruh.

Naměřené intenzity vozidel a naměřené vozidla, při rozsvícení signálu volno pro všechny řadící pruhy v konkrétních dnech jsou zaznamenány v tabulkách, které obsahuje Příloha A.

Výsledné průměrné délky front zjištěné měřením pro potřebu validace jsou zpracovány v tabulce č. 3.1. Výsledné intenzity vozidel v daných dopravních proudech za celé sledované období jsou uvedeny v tabulce č. 3.2. Procentuální rozdělení osobních a nákladních vozidel je uvedeno v tabulce č. 3.3.

Tab. č. 3.1: Průměrné délky front na volno nezbytné k validaci

<b>Průměrná délka fronty na volno [voz/60 min]</b>				
<b>den/směr</b>	<b>30.9.</b>	<b>13.10.</b>	<b>26.10.</b>	<b>průměr</b>
VBJ	0,80	0,76	1,02	<b>0,86</b>
VB	2,78	2,60	3,22	<b>2,87</b>
KB	2,04	2,04	2,30	<b>2,13</b>
VC	7,23	6,21	8,02	<b>7,16</b>
VG	2,38	1,58	1,58	<b>1,85</b>
VD1	2,15	2,38	2,87	<b>2,47</b>
VD2	0,69	0,62	0,85	<b>0,72</b>
VA	5,56	4,95	6,19	<b>5,57</b>
VE	3,12	2,77	2,88	<b>2,92</b>

Tab. č. 3.2: Výsledné intenzity vozidel za celé sledované období

Průměrný počet příjezdících vozidel [voz/2 min]									
čas/směr	VB <sub>J</sub>	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
13:30 - 13:32	3	9	4	19	2	8	2	15	4
13:32 - 13:34	1	2	4	14	0	4	1	10	2
13:34 - 13:36	3	5	6	19	1	6	1	11	3
13:36 - 13:38	4	7	6	22	1	6	1	11	1
13:38 - 13:40	1	4	3	18	2	7	1	17	3
13:40 - 13:42	1	9	3	9	1	10	3	14	3
13:42 - 13:44	4	5	4	20	0	5	1	11	4
13:44 - 13:46	2	6	3	14	2	8	1	13	0
13:46 - 13:48	3	7	4	20	2	8	1	12	3
13:48 - 13:50	2	8	2	16	1	6	1	12	2
13:50 - 13:52	2	7	4	14	1	8	1	15	2
13:52 - 13:54	1	6	4	17	1	8	1	16	3
13:54 - 13:56	2	8	4	18	3	9	1	12	2
13:56 - 13:58	2	7	6	15	1	6	1	13	2
13:58 - 14:00	4	6	5	21	2	7	0	14	1
14:00 - 14:02	3	5	5	15	2	5	1	15	3
14:02 - 14:04	5	7	8	16	2	11	1	13	2
14:04 - 14:06	3	6	8	16	1	8	2	8	4
14:06 - 14:08	4	6	4	21	2	7	2	9	1
14:08 - 14:10	3	5	4	25	2	7	0	12	3
14:10 - 14:12	2	11	6	12	3	6	1	15	5
14:12 - 14:14	4	10	4	17	1	6	1	16	4
14:14 - 14:16	2	9	8	18	3	6	1	17	4
14:16 - 14:18	2	6	8	21	1	7	2	20	1
14:18 - 14:20	2	10	12	15	3	9	0	15	4
14:20 - 14:22	3	9	3	28	2	5	1	17	4
14:22 - 14:24	2	14	10	16	3	7	1	20	2
14:24 - 14:26	3	8	5	19	1	9	1	23	3
14:26 - 14:28	4	10	7	17	2	5	2	12	4
14:28 - 14:30	4	11	6	16	3	9	0	18	2
<b>Celkem</b>	<b>78</b>	<b>224</b>	<b>161</b>	<b>525</b>	<b>51</b>	<b>213</b>	<b>34</b>	<b>426</b>	<b>80</b>

Tab. č. 3.3: Složení dopravního proudu

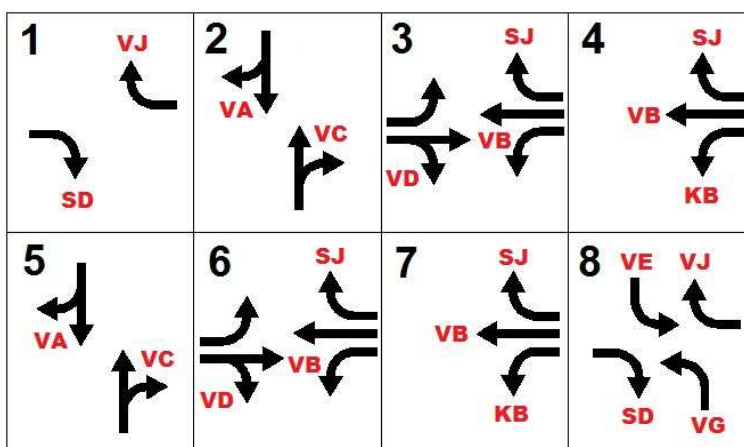
Průměrné zastoupení nákladních a osobních vozidel [%]									
Řad. pruh	VB <sub>J</sub>	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
Nákl. v.	6	4	8	10	8	10	8	8	13
Os. v.	94	96	92	90	92	90	92	92	87
Poměry [-]									
Proměnná	Pomer (1)	Pomer (2)	Pomer (3)	Pomer (4)	Pomer (5)	Pomer (6)	Pomer (7)	Pomer (8)	Pomer (9)
Hodnota	0,06	0,04	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,08	0,13

### 3.5 Fázové schéma a signální plán

Fázové schéma představuje přiřazení dopravních pohybů jednotlivým fázím. Z fázového schématu lze vypočítat, že ve třetí a šesté fázi mají současně volno podmíněně kolizní proudy, tudíž vozidla v daných dopravních proudech musí ze zákona podle pravidel silničního provozu dávat přednost protijedoucím vozidlům. Toto musí být samozřejmě zachyceno v modelu. Na obr. č 3.11 lze vidět graficky znázorněné fázové schéma. V tomto schématu jsou



rovněž vykresleny světelné signály pro jednotlivé řadící pruhy. Přiřazení světelných signálů jednotlivým řadícím pruhům lze vidět v tab. č. 3.4, str. č. 26.



Obr. č. 3.11 Fázové schéma

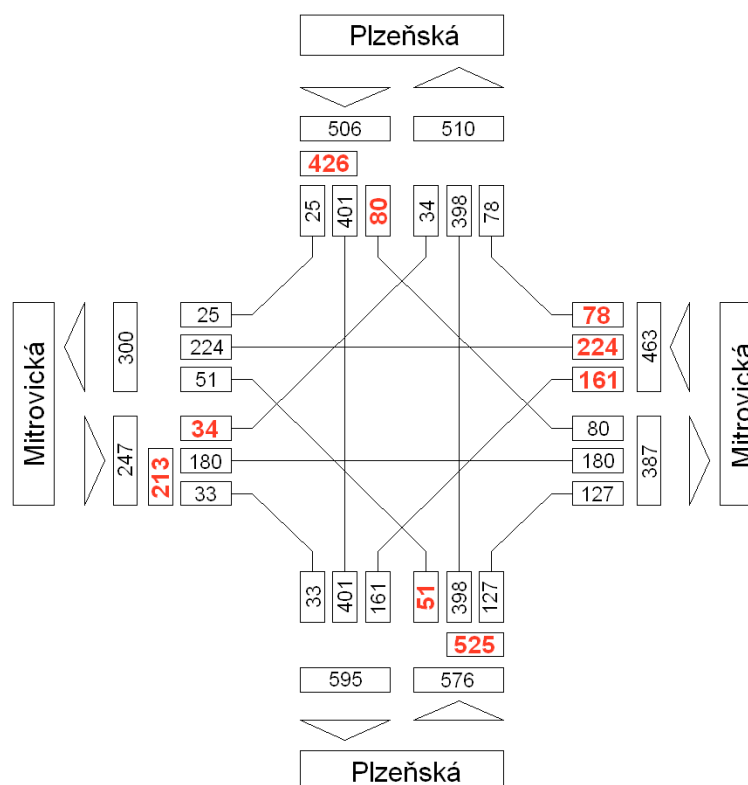
Daná křižovatka je řízena podle několika signálních plánů. Pro potřebu simulace byl použit pouze signální plán P2, kterým je řízena křižovatka v době od 13:00 do 17:00 hod. Tento signální plán je dynamický, což znamená, že každá fáze má zadanou určitou délku volna plus prodlužování. Maximální doba cyklu je 206 sekund, minimální 101 sekund. Doba zeleného signálu při identifikované poruše detektoru byla brána jako pevná doba volna, což znamená cyklus 162 sekund. Tato doba cyklu byla ověřena při prováděném dopravním průzkumu a bylo zjištěno, že se průměrně pohybuje v tomto čase.

Signální plán byl poskytnut firmou Ostravské komunikace, a.s. [5] a je přiložen v Příloze č. B, pro větší přehlednost jsou v tab. č. 3.4 zaznamenány ze signálního plánu začátky a konce signálu volno pro jednotlivé řadící pruhy. Proměnná začátek a konec představuje dobu, kdy má vozidlo v daném řadícím pruhu signál dovolující jízdu a tudíž může vjet do křižovatky. Rovněž tyto proměnné jsou názvy vstupních proměnných použitých v modelu. Během jednoho cyklu mají některé řadící pruhy signál volno vícekrát. Nutno poznamenat, že dopravní proud „VBJ“ má kromě signálu VJ také signál SJ, který značí signál doplňkové zelené šipky. Obdobně je na tom řadící pruh „VD1“, pro ten platí signál doplňkové zelené šipky SD. Signál pro opuštění křižovatky, označený v signálním plánu KB, slouží pro řadící pruh „KB“.

Tab. č. 3.4: Začátky a konce signálu volno pro jednotlivé proudy

Začátky a konce signálu volno					
Řadící pruh	Proměnná	čas [s]	Proměnná	čas [s]	Signál
VA	Zacatek (1)	8	Konec (1)	42	VA
	Zacatek (2)	84	Konec (2)	113	
VE	Zacatek (3)	150	Konec (3)	161	VE
VB	Zacatek (4)	0	Konec (4)	9	VJ
	Zacatek (5)	49	Konec (5)	83	SJ
	Zacatek (6)	120	Konec (6)	150	SJ
	Zacatek (7)	150	Konec (7)	162	VJ
VB	Zacatek (8)	48	Konec (8)	80	VB
	Zacatek (9)	119	Konec (9)	148	
KB	Zacatek (10)	48	Konec (10)	80	VB
	Zacatek (11)	71	Konec (11)	80	KB
	Zacatek (12)	119	Konec (12)	148	VB
	Zacatek (13)	139	Konec (13)	148	KB
VC	Zacatek (14)	9	Konec (14)	43	VC
	Zacatek (15)	83	Konec (15)	113	
VG	Zacatek (16)	153	Konec (16)	162	VG
VD1	Zacatek (17)	0	Konec (17)	5	SD
	Zacatek (18)	49	Konec (18)	61	VD
	Zacatek (19)	119	Konec (19)	131	
	Zacatek (20)	151	Konec (20)	162	SD
VD2	Zacatek (21)	49	Konec (21)	61	VD
	Zacatek (22)	119	Konec (22)	131	

Pro přehlednější a názornější výsledky intenzit dopravních proudů a směrů byl vykreslen kartogram, který lze vidět na obr. č. 3.12. Červené číslice značí změřené intenzity vozidel, s kterými bude pracováno ve Witnessu.



Obr. č. 3.12 Kartogram

## 4 Tvorba simulačního modelu v prostředí Witness

Na tvorbu modelu křižovatky byl použit simulační nástroj Witness. Je to nástroj pro simulaci výrobních, obslužných a logistických procesů. Používá se pro podporu rozhodování vedoucích pracovníků při řešení organizačních, technických a provozních problémů souvisejících zejména s restrukturalizací a zlepšováním podnikových procesů.

Modely sestavené v programu Witness zobrazují dynamicky pohyb vozidel, materiálu či zákazníků systémem, stavy jednotlivých elementů, prováděné operace, aktuální využití zdrojů. Jsou rovněž zaznamenávány všechny události, které se v systému udály. Osoba, obsluhující tento program tak může sledovat dynamiku procesu. V případě potřeby má k dispozici údaje potřebné k vyhodnocení výkonnosti daného systému podle zvolených požadavků.

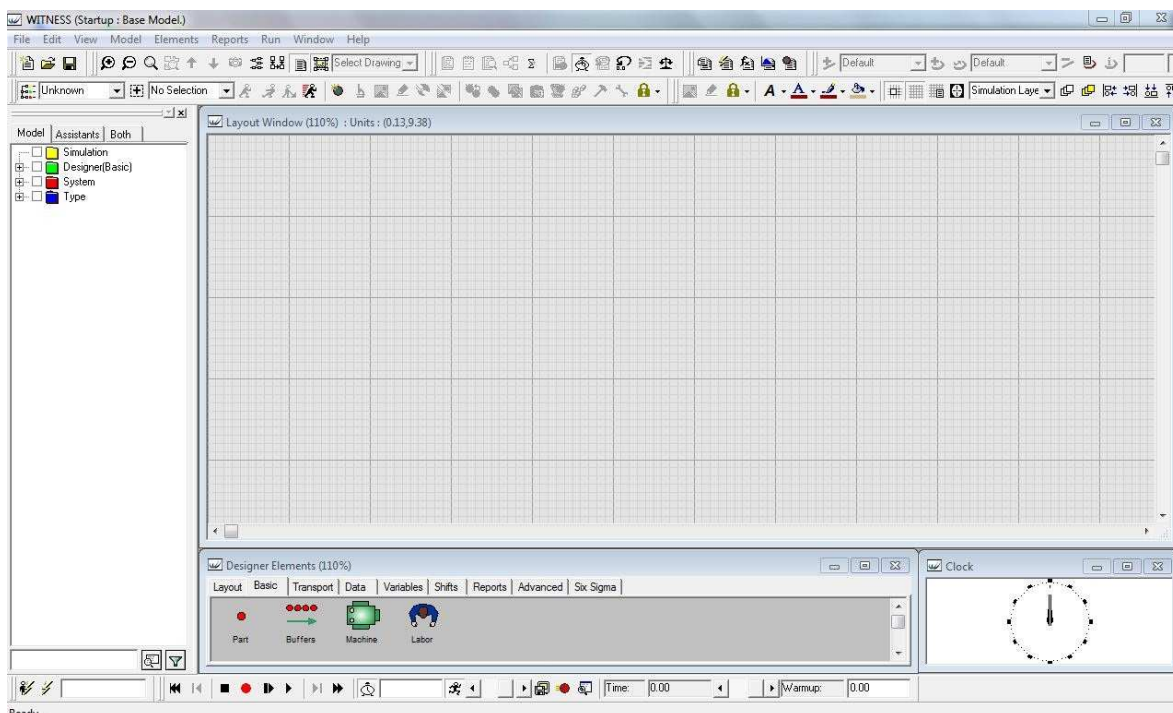
Witness může analyzovat libovolné procesy, ve kterých je žádoucí měřit dopad navržených změn a podloženě kvantifikovat alternativy východisek. Při vytváření modelů, které simulují reálné procesy, lze v jakémkoliv čase simulaci zastavit, změnit parametry systému, například rozdělení strojů, počet pracovníků na směně nebo směřování materiálu a poté v simulaci pokračovat. Lze tak ihned sledovat důsledky těchto změn. Simulační čas může běžet mnohem rychleji než reálný, a tak je možné rychle vyhodnotit různé varianty navrhovaného řešení problému. [6]

### 4.1 Základní části programu Witness

Při zpracování této podkapitoly byly vycházeno z dokumentu [7] Witness – Úvod do použití. Nejzákladnějšími prvky, bez kterých se téměř žádný model neobejde, jsou prvky typu:

- součást (Part),
- zásobník (Buffer),
- stroj (Machine),
- pracovník (Labor).

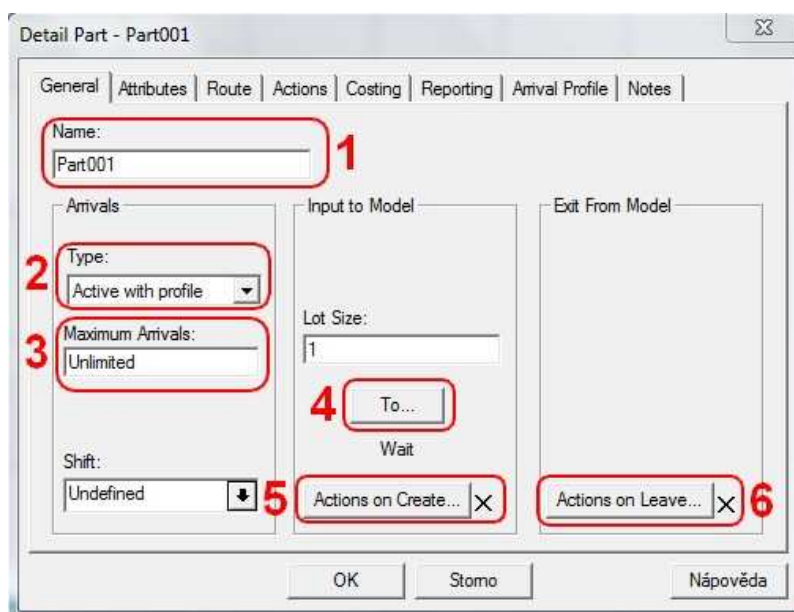
Při modelování křižovatky budou z těchto základních prvků stačit prvky typu součást, zásobník a stroj. Na obr. č. 4.1 lze vidět pracovní plochu programu Witness, která například zobrazuje návrhové okno, okno Element Selector, které zobrazuje strukturu v hierarchickém stromu, analogové hodiny, atd.



Obr. č. 4.1 Prostředí Witness

## Součást

Součást je prvkem, procházejícím modelem. Tento prvek může například reprezentovat výrobky, které obíhají ve firmě nebo například zákazníka čekajícího ve frontě. Do modelu mohou tyto součásti vstupovat o své vlastní vůli (aktivní součásti) nebo může být jejich vstup do modelu způsoben vůlí jiného prvku (pasivní součásti). Na obr. č. 4.2 je vyobrazen detail součásti. V modelu křižovatky budou součásti představovat vozidla přijíždějící ke křižovatce.



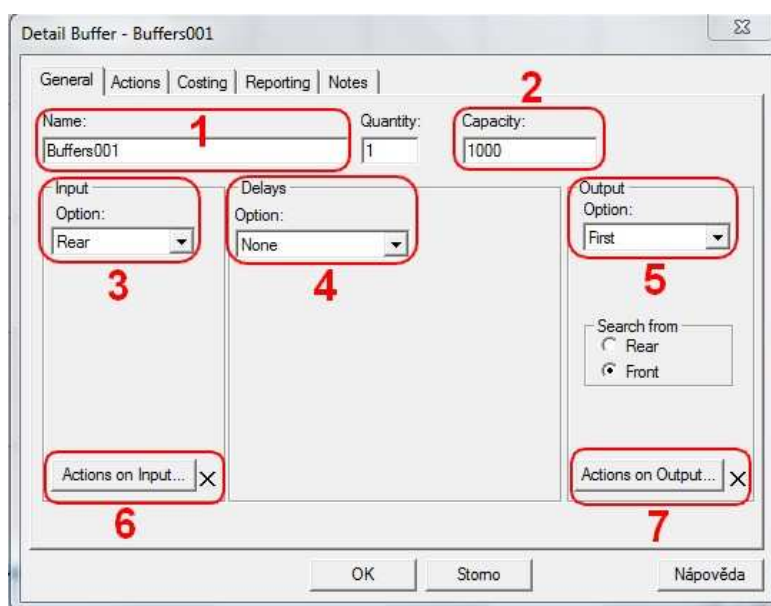
Obr. č. 4.2 Detail součásti

Popis dialogu pro specifikaci parametrů součásti:

1. Pojmenování součásti – jakýkoliv prvek musí mít své unikátní pojmenování, nelze mít dva prvky se stejným pojmenováním.
2. Typ součásti – lze nastavit pasivní, aktivní, aktivní s profilem (použit v původním modelu, do profilu se zadávají vstupní intenzity vozidel v jednotlivých časových úsecích).
3. Maximální počet příchodů – zde se zadává, kolik součástí daného jména může do modelu maximálně vstoupit.
4. Editace vstupních pravidel – pomocí vstupního pravidla se nastavuje, kam součásti při jejich vytvoření vstupují.
5. Editování akcí při vstupu – slouží například k realizaci pomocných výpočtů, akce je provedena při vstupu každé součásti do modelu.
6. Editování akcí na výstupu – slouží například k realizaci pomocných výpočtů, akce je provedena vždy při výstupu součástí z modelu.

### Zásobník

Zásobníky jsou místa, kde se skladují součásti. Tyto prvky mohou reprezentovat například frontu na čerpací stanici nebo sklad součástek v dílně. Jsou pasivního charakteru, součásti jsou do zásobníku posílány a ze zásobníku jsou vybírány jiným prvkem. Mimo jiné u tohoto elementu můžeme také nadefinovat kapacitu zásobníku. Na obr. č. 4.3 je zobrazen detail zásobníku. V modelu budou reprezentovat frontu čekajících vozidel v daných pruzích.



Obr. č. 4.3 Detail zásobníku

Popis dialogu pro specifikaci parametrů zásobníku:

1. Pojmenování zásobníku.
2. Vymezení kapacity zásobníku (např. maximální počet vozidel, které mohou být ve frontě).
3. Definování, na jaké místo fronty se bude příchozí součást řadit.
4. Vymezení předepsaného zdržení součásti v zásobníku – čas zdržení součásti v zásobníku.
5. Definování, z kterého místa fronty se odcházející součásti budou vybírat.
6. Vymezení akce při vstupu součásti – slouží například k realizaci pomocných výpočtů.
7. Vymezení akce při výstupu součásti – slouží například k realizaci pomocných výpočtů.

## Stroj

Stroje jsou prvky, které odebírají součásti, zpracovávají je a pak je posílají dál. Stroje můžeme rozdělit podle počtu vstupujících a vystupujících součástí na:

- Jednoduchý stroj (Single machine) – do stroje vstupuje a ze stroje vystupuje vždy 1 součást.
- Montážní stroj (Assembly machine) – do stroje vstupuje  $n$  součástí a pouze 1 ze stroje vystupuje.
- Produkční stroj (Production machine) – do stroje vstupuje 1 součást a  $n+1$  součástí ze stroje vystupuje.

Výše jsou popsány tři druhy nejpoužívanějších strojů, ale existují i další druhy jako je například obecný stroj, dávkový stroj, stroj s vícenásobným cyklem aj. Na obr. č. 4.4 je vykreslen detail stroje.

V samotném modelu budou stroje modelovat vjezd vozidel do křižovatky. Nadefinovat bude dále třeba ještě další dva pomocné stroje z důvodu existence podmíněně kolizních proudů.

Obr. č. 4.4 Detail stroje

Popis dialogu pro specifikaci parametrů stroje:

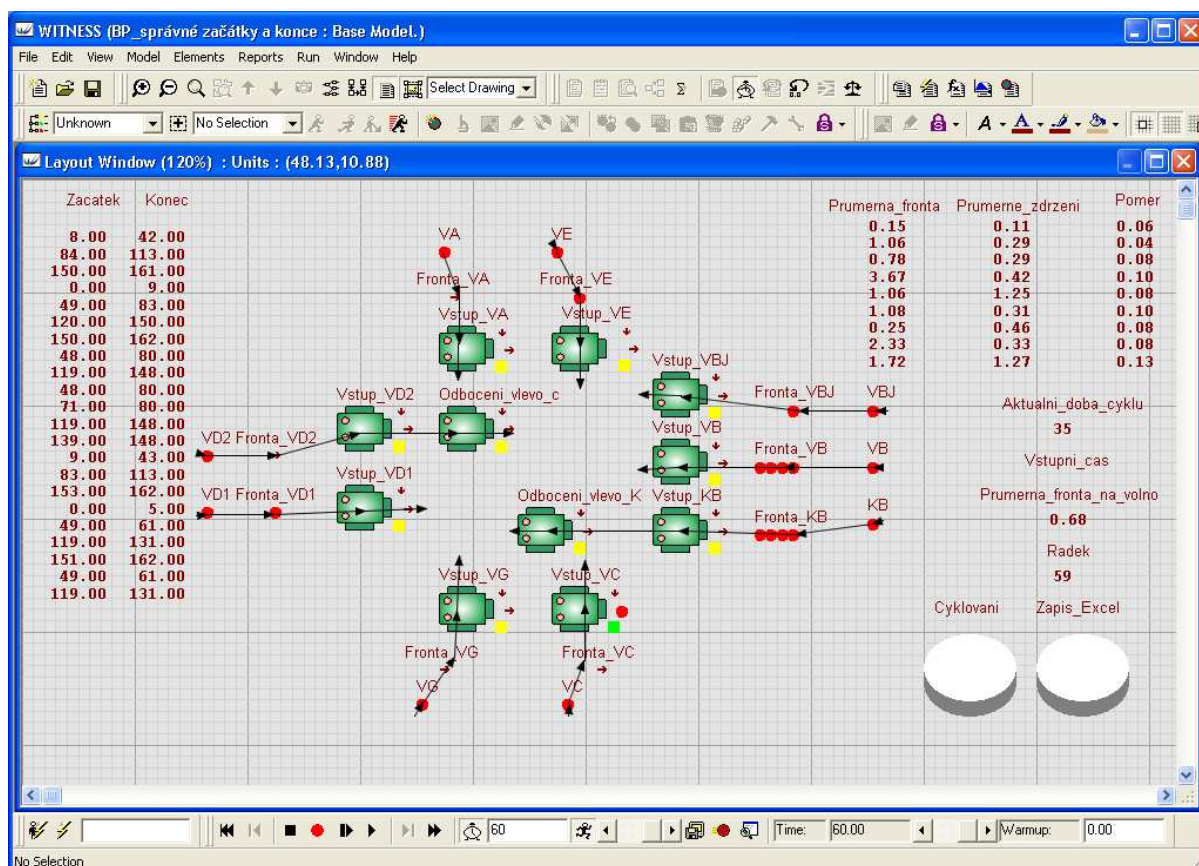
1. Pojmenování stroje.
2. Kvantita stroje – množství strojů se stejným nastavením paralelně vedle sebe.
3. Typ stroje – volba druhu stroje, „Single machine“, „Assembly machine“, „Production machine“.
4. Vymezení počtu vstupujících součástí do stroje – nastavení určené ke zpracování počtu součástí, které musí do stroje vstoupit, aby mohlo začít jejich zpracování.
5. Editace vstupních pravidel – odkud jsou součásti vybírány.
6. Editace akcí na vstupu součástí do stroje – slouží k realizaci pomocných výpočtů, akce je provedena při vstupu každé součásti do stroje.
7. Vymezení operačního času – doba zpracování součástí ve stroji.
8. Přidělení pracovní síly – pracovní síla je používána k modelování všeho, co musí být k dispozici, aby byla operace uskutečněna a co je na rozdíl od materiálu během operace nespotřebováno.
9. Akce na začátku cyklu stroje – slouží například k realizaci pomocných výpočtů při začátku cyklu stroje.
10. Akce na konci cyklu stroje – slouží například k realizaci pomocných výpočtů na konci cyklu stroje.
11. Vymezení počtu vystupujících součástí ze stroje – nastavení počtu součástí vystupujících ze stroje po ukončení zpracování.
12. Editace výstupních pravidel – kam bude součást odeslána po ukončení zpracování ve stroji.



13. Editace akcí na výstupu součásti ze stroje – slouží k realizaci pomocných výpočtů, akce je provedena vždy při výstupu součástí ze stroje.

## 4.2 Model křižovatky

Dopravní proudy jsou očíslovány od dopravního proudu „VBJ“ číslem 1 po směru hodinových ručiček až k dopravnímu proudu „VE“, končící číslem 9. Očíslování dalších proudů lze vidět v situačním schématu viz obr. č. 3.2 str. č. 17. Na obr. č. 4.5 lze vidět konečnou verzi modelu. V následující části práce bude model popsán.



Obr. č. 4.5 Konečná verze modelu

Nejdříve budou popsány vstupy do modelu – proměnná aktuální doba cyklu, proměnná začátek a konec signálu dovolující jízdu, atribut vstupní čas, proměnná poměr. Níže budou tyto proměnné a atributy rozebrány.

### Aktuální doba cyklu

Proměnná „Aktualni\_doba\_cyklu“ vyjadřuje, v jaké sekundě cyklu se simulace modelu nachází. Až dovrší „Aktualni\_doba\_cyklu“ hodnotu délky celého cyklu (tj. 162 s), dojde k



jejímu vynulování. Tato akce se zajistí v pomocném koláčovém grafu „Cyklovani“, který také slouží k tomu, aby se co sekundu navyšovala aktuální doba cyklu.

Zápis akce v pomocném koláčovém grafu „Cyklovani“:

Aktualni\_doba\_cyklu = Aktualni\_doba\_cyklu + 1

IF Aktualni\_doba\_cyklu = 162

    Aktualni\_doba\_cyklu = 0

ENDIF

### Začátky a konce signálu volno

Proměnná „Zacatek (X)“ a „Konec (X)“ značí začátek a konec signálu dovolujícího jízdu pro jednotlivé řadící pruhy. Tyto začátky a konce se odečtou z daného signálního plánu. Jelikož v některých proudech se objevuje během jednoho cyklu signál dovolující jízdu vícekrát, musí se celkem nadefinovat 22 začátků a 22 konců. Tyto začátky a konce jsou uvedeny v tabulce č. 3.4, str. č. 26. Jejich hodnoty jsou zapsány v modelu v inicializačních akcích a jsou tedy inicializovány při začátku simulace. Jakmile budou později v modelu nadefinovány prvky typu stroj reprezentující vjezd vozidel do křižovatky, budou do těchto strojů nadefinována vstupní pravidla s proměnnými „Zacatek (X)“ a „Konec (X)“.

### Atribut vstupní čas

Jak už bylo v předchozí kapitole popsáno, vstupní čas je čas, který udává průměrné rozestupy mezi vozidly na úrovni stopčáry při rozsvícení signálu dovolujícího jízdu. Pro osobní vozidla nabývá hodnot 2 sekundy, pro nákladní 4 sekundy.

### Poměr

Proměnná „Pomer“ představuje průměrné zastoupení příjíždějících nákladních a osobních vozidel. Tyto poměry vyplývají z dopravního průzkumu – složení dopravního proudu, viz tabulka č. 3.3, str. č. 24. Jednotlivé poměry jsou zapsány v modelu v inicializačních akcích. Po vytvoření všech součástí, které představují příjezd vozidel ke křižovatce, budou napsány v jejich akcích při vstupu podmínky, které zajistí rozlišení druhu vozidla příjíždějícího ke křižovatce.

Následně bylo nutné do modelu vložit prvky typu součást, zásobník a stroj. Nejdříve byl vložen prvek typu součást („Part“), který představuje vozidla příjíždějící ke křižovatce. Daná křižovatka má 9 řadících pruhů, což značí 9 součástí. Název odpovídá jednotlivým názvům

řadících pruhů, které jsou uvedeny v situačním schématu (např. vozidla přijíždějící z centra, chtějící jet na Krmelín či Starou Bělou, tak mají označení „VA“). Jedná se o prvek aktivní s profilem. Do profilu se zadávají vstupní intenzity vozidel (průměrné vstupní intenzity za celé sledované období), které byly získané na základě vlastního pozorování. Intenzity jsou zadávány za časové období 2 minuty po dobu 60 minut – viz obr. č. 4.6.

	Time	Length	Volume
1	0	2	15
2	2	2	10
3	4	2	11
4	6	2	11
5	8	2	17
6	10	2	14
7	12	2	11
8	14	2	13
9	16	2	12
10	18	2	12
11	20	2	15
12	22	2	16
13	24	2	12
14	26	2	13
15	28	2	14

**Obr. č. 4.6 Vstupní intenzity vozidel (sloupec Volume)**

Pro názorný příklad je níže uvedena akce při vstupu součásti „VA“, „Pomer (8)“ = 0,08, což znamená, že v řadícím pruhu „VA“ bylo 8% nákladních vozidel a 92% osobních vozidel.

IF UNIFORM (0,1) <= Pomer (8)

Vstupni\_cas = 4

ELSE

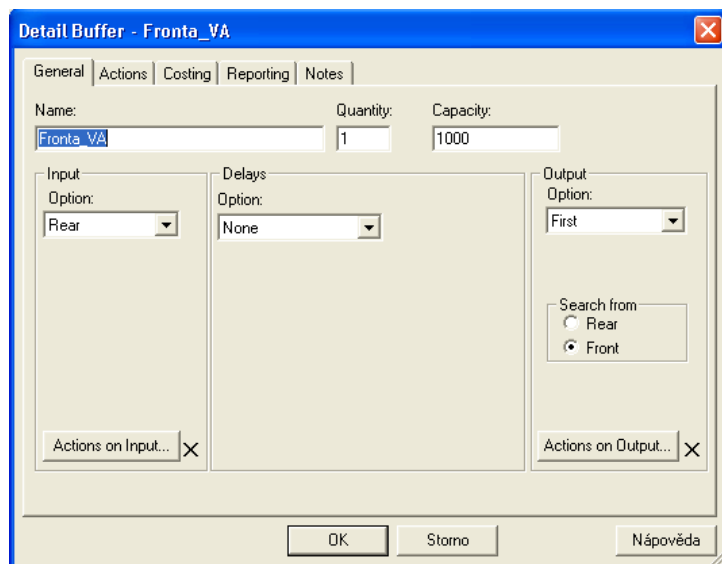
Vstupni\_cas = 2

ENDIF

Tento zápis vyjadřuje: Jestliže je vygenerovaná hodnota z rovnoměrného rozdělení z intervalu (0,1) menší nebo rovna než „Pomer (8)“, potom se jedná o nákladní vozidlo a je mu tedy přiřazen vstupní čas 4 sekundy, v opačném případě se jedná o osobní vozidlo a je mu přiřazen vstupní čas 2 sekundy.

Dalším prvkem, který je třeba nadefinovat, je prvek typu zásobník („Buffers“). Ten reprezentuje frontu čekajících vozidel pro jednotlivé řadící pruhy. Jedná se o zásobník typu FIFO, což značí, že první vozidlo, které přijede ke křižovatce do fronty, také první z této

fronty odjede. V této práci byla uvažovaná dostatečná kapacita zásobníků, aby nedocházelo k odmítání vozidel na vstupu. V programu Witness je pojmenován písmeny, které jsou v situačním schématu pro jednotlivé proudy (např. fronta pro proud „VA“ má označení „Fronta\_VA“). V detailech těchto zásobníků viz obr. č. 4.7 nebylo zapotřebí vyjma pojmenování zásobníku nic definovat.



Obr. č. 4.7 Detail zásobníku

Vjezd vozidel do křižovatky je modelován typem prvku stroj („Machine“). Pojmenování stroje je opět odvozeno z daného proudu (pro proud „VA“ je stroj pojmenován „Vstup\_VA“). Stroj modeluje vjezd vozidel do křižovatky. Vjezd vozidel do křižovatky v daném proudu je dovolen pouze při signálu dovolujícím jízdu vozidel. To je zajištěno ve vstupním pravidle každého stroje pomocí proměnných „Zacatek (X)“, „Konec (X)“.

Pro názorný příklad je níže uvedeno vstupní pravidlo pro stroj „Vstup\_VA“:

```
IF Aktualni_doba_cyklu >= Zacatek (1) AND Aktualni_doba_cyklu <= Konec (1)
```

```
  PULL from Fronta_VA
```

```
ELSEIF Aktualni_doba_cyklu >= Zacatek (2) AND Aktualni_doba_cyklu <= Konec (2)
```

```
  PULL from Fronta_VA
```

```
ELSE
```

```
  Wait
```

```
ENDIF
```

Tento zápis znamená: Jestliže je cyklus ve fázi větší nebo roven „Zacatek (1)“ a zároveň menší nebo roven „Konec (1)“, vozidla směřj vjet do křižovatky, a také jestliže je cyklus ve

fází větší nebo roven „Zacatek (2)“ a zároveň menší nebo roven „Konec (2)“, vozidla smějí vjet do křižovatky, jinak musí čekat.

Jak už bylo v předchozí kapitole popsáno, ve třetí a šesté fázi dochází k podmíněně kolizním dopravním pohybům na křižovatce. Z tohoto důvodu je zapotřebí nadefinovat ještě dva stroje – „Odboceni\_vlevo\_c“, které je pro řadící pruh „VD2“ a „Odboceni\_vlevo\_K“, pro dopravní proud „VB“. Ve vstupních pravidlech těchto strojů je zajištěno, aby vozidla do křižovatky vjížděla pouze v okamžiku, kdy nebude docházet k podmíněně kolizním situacím.

Pro názorný příklad je níže uvedeno vstupní pravidlo pro stroj „Odboceni\_vlevo\_c“:

IF NPARTS (Vstup\_VB) = 0 AND NPARTS (Vstup\_VBJ) = 0

PUSH to SHIP

ELSE

Wait

ENDIF

Tento zápis vyjadřuje: Jestliže do křižovatky nevstupují vozidla z řadícího pruhu „VB“ a jestliže nevstupují vozidla do křižovatky z řadícího pruhu „VBJ“, mohou vozidla z daného řídícího pruhu vjet do křižovatky, jinak musí čekat.

Mezi výstupy z modelu se řadí proměnná průměrná fronta, proměnná průměrné zdržení a pomocná proměnná průměrná fronta na volno.

Pomocný koláčový graf „Zapis\_Excel“ slouží k tomu, aby se po 60 minutách spočítaly proměnné „Prumerne\_zdrzeni“ a „Prumerna\_fronta“. Proměnná „Prumerne\_zdrzeni“ vyjadřuje průměrné zdržení vozidel v minutách za celé sledované období pro daný řadící pruh. Do proměnné „Prumerna\_fronta“ se zaznamenává průměrný počet stojících vozidel v daném řídícím pruhu za celé sledované období.

Pro názorný příklad je níže uveden zápis z pomocného koláčového grafu „Zapis\_Excel“ pro výpočet průměrné zdržení proudu „VA“:

Prumerne\_zdrzeni (8) = ATIME (Fronta\_VA)

Zápis z pomocného koláčového grafu „Zapis\_Excel“ pro výpočet průměrné fronty řadícího pruhu „VA“:

Prumerna\_fronta (8) = APARTS (Fronta\_VA)

Výsledné simulační hodnoty proměnných „Prumerne\_zdrzeni“ a „Prumerna\_fronta“ budou v závěrečné části této práce zaneseny do grafů, kde budou srovnány s experimenty. Výsledné hodnoty pro jednotlivé proudy jsou uloženy v modelu.

Pomocná proměnná „Prumerna\_fronta\_na\_volno“ slouží k samotné validaci simulačního modelu. V modelu byla vykreslena do pomocných histogramů. Validace simulačního modelu bude následně rozebrána v následující kapitole.

Výsledný simulační model křižovatky je zpracován v Příloze D.

## 5 Validace simulačního modelu

Validací se rozumí potvrzení prostřednictvím poskytnutí objektivních důkazů, že sestavený simulační model dokazuje dostatečný soulad se skutečností, s požadavkem na zamýšlené použití modelu.

V této práci byla validace modelu provedena srovnáním průměrné délky fronty v okamžiku rozsvícení signálu dovolující jízdu získané průzkumem a hodnoty získané simulací.

Jak už bylo výše zmíněno, pod pojmem průměrná fronta na volno se rozumí průměrný počet vozidel v daném jízdním pruhu, stojících za sebou při rozsvícení signálu volno. Jednotlivé hodnoty pro všechny řadící pruhy byly zapisovány do měřících archů, které lze vidět v Příloze A. Doba měření byla stanovena od 13:30 do 14:30, měření probíhalo ve třech dnech. Při simulaci bylo provedeno 10 simulačních běhů viz tab. č. 5.1 z kterých byl následně proveden aritmetický průměr. Srovnání naměřených hodnot se simulačními hodnotami je uvedeno v tab. č. 5.2.

Tab. č. 5.1: Výsledné hodnoty simulačních běhů

Průměrná délka fronty na volno - Witness [voz/60 min]								
VBJ	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
0,73	2,91	2,30	7,04	2,23	2,29	0,61	5,49	3,41
0,75	2,98	2,14	7,47	2,09	2,41	0,64	5,89	3,45
0,93	2,70	1,89	7,09	2,18	2,39	0,68	5,76	3,55
0,77	2,93	2,11	7,56	2,27	2,47	0,48	5,58	3,41
0,80	3,23	2,20	7,51	2,18	2,45	0,64	5,58	3,59
0,95	3,09	2,11	7,40	2,27	2,36	0,64	5,56	3,27
0,57	2,98	2,09	7,58	2,14	2,47	0,70	5,78	3,45
0,70	3,09	2,00	7,64	2,00	2,42	0,61	5,49	3,41
0,75	3,07	2,30	7,31	2,18	2,48	0,57	5,67	3,59
0,86	2,93	2,23	8,04	2,32	2,39	0,64	5,58	3,32
0,78	2,99	2,14	7,46	2,19	2,42	0,62	5,64	3,45

Tab. č. 5.2: Srovnání naměřených hodnot s hodnotami simulačními

Validace									
pozemní komunikace	Mitrovická			Plzeňská		Mitrovická		Plzeňská	
řadící pruh	VBJ	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
Model [voz]	0,78	2,99	2,14	7,46	2,19	2,42	0,62	5,64	3,45
Měření [voz]	0,86	2,87	2,13	7,16	1,85	2,47	0,72	5,57	2,92
Odchylka [%]	9,1	4,2	0,5	4,1	15,6	2,1	13,6	1,2	15,2

Z výsledné tabulky, srovnávající naměřené hodnoty se simulačními hodnotami lze vypočítat, že největší procentuální odchylka 15,6 % je v řadícím pruhu „VG“. Tento proud se nachází na hlavní pozemní komunikaci Plzeňská od Krmelína a pokračuje směr Stará Bělá.

Nejmenší odchylka se nachází u řadícího pruhu „KB“, což je proud vedlejší pozemní komunikace z Nové Bělé do Krmelína. Po dohodě s vedoucím této bakalářské práce bylo dohodnuto, že tato odchylka vyjadřuje uspokojivou míru shody s naměřenými hodnotami a tudíž byl model validován.

## 6 Experiment

Nad rámec zadání této práce byly vypracovány experimenty věnované vlivu charakteru vstupního toku vozidel na průměrnou dobu zdržení a průměrnou délku fronty. Dále byl experiment zaměřen na zjištění intervalového odhadu.

### 6.1 Teorie exponenciálního a Erlangova rozdělení

V této podkapitole budou tato dvě rozdělení popsána. Při experimentech bude uvažováno, že se mezery mezi příjezdy vozidel v jednotlivých proudech budou řídit exponenciálním a Erlangovým rozdělením, proto se nejdříve věnujme popisu těchto rozdělení pravděpodobnosti.

Exponenciální rozdělení [8]

Toto rozdělení je rozdělením pro popis doby do výskytu první události, popř. doby mezi událostmi. Exponenciální rozdělení bude modelovat mezery mezi příjezdy vozidel. Toto rozdělení se pojí s Poissonovým rozdělením. Poissonovo rozdělení popisuje počet výskytů nějakých událostí v časovém intervalu, exponenciální rozdělení se používá k popisu doby mezi výskyty příslušných událostí. Náhodná veličina „ $X$ “ s exponenciálním rozdělením bude zapisována:

$$X \rightarrow E(\lambda).$$

Jedná se o spojité rozdělení, které je popsáno hustotou pravděpodobnosti a distribuční funkcí. Exponenciální náhodná proměnná má jeden parametr  $\lambda > 0$ .

Hustota pravděpodobnosti je definována vztahem:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}; \quad t > 0; \lambda > 0 \quad (6.1)$$

$$f(t) = 0 \quad \text{jinde.}$$

Distribuční funkce je definována:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad t > 0; \lambda > 0 \quad (6.2)$$

$$F(t) = 0 \quad \text{jinde.}$$

Exponenciální rozdělení lze popsat několika číselnými charakteristikami, nejčastěji je uváděna střední hodnota a rozptyl, které se spočítají podle následujících vztahů:

Střední hodnota  $EX$  je momentová charakteristika polohy a stanoví se podle vztahu:



$$EX = \frac{1}{\lambda}. \quad (6.3)$$

Rozptyl  $DX$  je momentová charakteristika variability a je definována vztahem:

$$DX = \frac{1}{\lambda^2}. \quad (6.4)$$

Erlangovo rozdělení [8]

Pomocí Erlangova rozdělení budou rovněž modelovány mezery mezi příjezdy vozidel. Náhodnou veličinu s Erlangovým rozdělením si lze představit jako součet  $k$  nezávislých exponenciálních náhodných veličin (doba do výskytu  $k$ -té události je součtem dob mezi 0-tou a 1. událostí, 1. a 2. událostí, ...,  $(k-1)$ . a  $k$ . událostí).

Erlangovo rozdělení má dva parametry: parametr tvaru  $k$ , který vyjadřuje počet událostí, k nimž má dojít a parametr  $\lambda$ , který vyjadřuje rychlost výskytu těchto událostí. Erlangovo rozdělení s parametrem tvaru  $k$  a parametrem měřítka  $\lambda$  potom vznikne jako součet  $k$  exponenciálních rozdělení s parametrem  $\lambda$ . Má-li náhodná veličina „ $X$ “ Erlangovo rozdělení, značí se:

$$X_k \rightarrow \text{Erlang}(k, \lambda).$$

Jedná se o spojité rozdělení, lze ho popsat hustotou pravděpodobnosti nebo distribuční funkcí. Pro Erlangovo rozdělení s parametry  $k$  a  $\lambda$  platí tyto vztahy:

Hustota pravděpodobnosti:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \cdot \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!}; \quad t > 0; \lambda > 0 \quad (6.5)$$

$$f(t) = 0 \quad \text{jinde.}$$

Distribuční funkce:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \cdot \sum_{j=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^j}{j!}; \quad t > 0; \lambda > 0 \quad (6.6)$$

$$F(t) = 0 \quad \text{jinde.}$$

Střední hodnota  $EX_k$  je momentová charakteristika polohy a stanoví se:

$$EX_k = \frac{k}{\lambda}. \quad (6.7)$$

Rozptyl  $DX_k$  je momentová charakteristika variability a stanoví se:

$$DX_k = \frac{k}{\lambda^2}. \quad (6.8)$$

Jelikož pro  $k = 1$  dostáváme exponenciální rozdělení s parametrem  $\lambda$ , proto bude v simulačním modelu pracováno pouze s Erlangovým rozdělením.

## 6.2 Provedené změny v simulačním modelu

Ve stávajícím modelu bylo zapotřebí udělat několik změn. V modelu se nadefinovala proměnná „Parametr\_tvaru“. V této proměnné je uložena hodnota parametru tvaru  $k$ . Tato hodnota se bude postupně navyšovat od  $k = 1$  až do  $k = 10$ . Navyšování hodnoty se provádí v inicializačních akcích. Pomocná proměnná „Pomocna“ slouží k zápisu dat do Excelu. V detailech prvků typu součást je ve stávajícím modelu nastaveno, že se jedná o prvek aktivní s profilem. Abychom mohli provést experiment, je zapotřebí u všech součástí nastavit v detailech, že se jedná o prvek aktivní. Do nově vzniklého pole „Inter Arrival Time“ se zapíše příkaz pro generování hodnot s Erlangovým rozdělením s danými parametry. Tento příkaz má tvar „ERLANG (X, Parametr\_tvaru)“. Za proměnnou „X“ se dosadí střední hodnota mezer mezi příjezdy vozidel v jednotlivých proudech.

Příklad výpočtu střední hodnoty mezery mezi příjezdy vozidel u proudu „VA“:

$$I = 426 \text{ voz/hod} = 7,1 \text{ voz/min} \rightarrow \text{mezera} = \frac{1}{7,1} \text{ min/voz}. \quad (6.9)$$

Střední hodnoty mezer mezi příjezdy vozidel v ostatních proudech jsou zaznamenány v tab. č. 6.1.

Pro názorný příklad je zde uveden zápis do pole „Inter Arrival Time“ u součásti „VA“:

ERLANG (1/7.1,Parametr\_tvaru)

Tab. č. 6.1: Střední hodnoty mezer v jednotlivých proudech

řadící pruh	počet příjíždějících vozidel [voz/60 min]	střední hodnoty mezer mezi příjezdy vozidel [min/voz]
VBJ	78	1/1,3
VB	224	1/3,73
KB	161	1/2,68
VC	525	1/8,75
VG	51	1/0,85
VD1	213	1/3,55
VD2	34	1/0,56
VA	426	1/7,1
VE	80	1/3,33

### 6.3 Výsledky experimentu závislé na parametru tvaru $k$

Následně byl uskutečněn samotný experiment. Pro každé  $k = 1, 2, \dots, 10$  bylo provedeno 30 simulačních běhů s různými proudy pseudonáhodných čísel a z toho byla vypočítána průměrná hodnota pro délku fronty a průměrná doba zdržení. Hodnoty  $k$  se měnily v inicializačních akcích v modelu. Výsledné hodnoty pro průměrnou délku fronty, zahrnující  $k = 1, 2, \dots, 10$  a pro všechny řadící pruhy lze vidět v tab. č. 6.2. Obdobně zpracované hodnoty pro průměrnou dobu zdržení jsou uvedeny v tab. č. 6.3.

Tab. č. 6.2: Průměrné délky front

Průměrné délky front [voz]									
pruh/k	VBJ	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
k=1	0,19	1,19	0,88	3,70	1,16	1,16	0,28	2,40	1,78
k=2	0,20	1,15	0,84	3,24	1,08	1,14	0,29	2,30	1,66
k=3	0,19	1,13	0,85	3,12	1,09	1,11	0,28	2,27	1,59
k=4	0,19	1,12	0,81	3,09	1,02	1,10	0,28	2,28	1,62
k=5	0,18	1,12	0,80	3,05	1,05	1,11	0,29	2,27	1,58
k=6	0,18	1,11	0,80	3,03	1,04	1,11	0,29	2,26	1,59
k=7	0,19	1,11	0,80	3,04	1,05	1,10	0,29	2,26	1,58
k=8	0,19	1,11	0,80	3,01	1,05	1,10	0,28	2,26	1,58
k=9	0,19	1,12	0,80	3,03	1,05	1,10	0,28	2,25	1,57
k=10	0,19	1,10	0,78	3,03	1,05	1,10	0,28	2,25	1,59

Tab. č. 6.3: Průměrná doba zdržení

Průměrná doba zdržení [s]									
pruh/k	VBJ	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
k=1	8,8	18,8	19,2	25,2	79,8	19,9	29,9	20,6	80,4
k=2	9,1	18,2	18,6	22,2	76,1	19,3	30,9	19,6	75,5
k=3	8,7	18,1	18,7	21,3	77,0	18,7	29,5	19,3	72,4
k=4	8,6	17,9	18,0	21,2	71,5	18,5	29,8	19,4	73,6
k=5	8,3	17,8	17,9	20,9	74,5	18,7	31,1	19,2	72,0
k=6	8,3	17,7	17,9	20,8	73,9	18,7	30,7	19,1	72,9
k=7	8,7	17,7	17,9	20,8	73,7	18,6	31,1	19,1	72,3
k=8	8,5	17,8	17,8	20,6	73,5	18,5	30,2	19,1	71,8
k=9	8,8	18,0	17,8	20,7	73,4	18,5	29,7	19,0	71,0
k=10	8,5	17,6	17,4	20,7	73,2	18,6	30,3	19,0	72,2

Dále bylo vypočítáno výsledné průměrné zdržení na celé křižovatce. Toto výsledné průměrné zdržení bylo stanoveno jako vážený průměr průměrných zdržení pro jednotlivé proudy, kde váhami jsou celkové počty vozidel v jednotlivých proudech, které se stanoví pomocí funkce „TOTALIN“. Výsledné průměrné zdržení se tedy vypočte:

$$VPZ = \frac{\sum_{\text{proudy}} PZ(\text{proud}) \cdot TOTALIN(\text{Fronta})}{\sum_{\text{proudy}} TOTALIN(\text{Fronta})} \quad (6.10)$$

kde:

$PZ(proud) = „Prumerne\_zdrzeni(proud)“$ : průměrné zdržení v příslušném proudu.

$„TOTALIN(Fronta)“$ : celkový počet součástí, které vstoupily do příslušného zásobníku modelujícího frontu vozidel.

V tab. č. 6.4 jsou uvedeny vypočtené hodnoty VPZ pro jednotlivé  $k = 1, 2, \dots, 10$ .

Tab. č. 6.4: Výsledné průměrné zdržení vozidel na křižovatce

Výsledné průměrné zdržení vozidel na křižovatce	
k [-]	VPZ [s]
1	25,6
2	23,9
3	23,3
4	23,1
5	23,0
6	22,9
7	22,9
8	22,8
9	22,8
10	22,8

Grafy znázorňující závislosti průměrné délky front vozidel, průměrného zdržení vozidel v jednotlivých proudech a výsledného průměrného zdržení vozidel na parametru tvaru  $k$  řešené křižovatky jsou vykresleny v podkapitole 6.6 str. č. 50 – „Srovnání experimentů zanesením hledaných charakteristik do grafů“, kde budou srovnány s výsledným experimentem věnovaným se hledáním intervalového odhadu.

Model, ve kterém byl realizován experiment je zpracován v Příloze D.

## 6.4 Odhady parametrů základního souboru

Teoretickému rozboru odhadu parametrů základního souboru se detailněji věnuje literatura [9], níže budou z této literatury vysvětleny některé pojmy.

Z metodického hlediska se používají dva typy odhadů:

- bodový odhad – parametr základního souboru se aproximuje jediným číslem,
- intervalový odhad – tento parametr se aproximuje intervalem, v němž příslušný populační parametr s vysokou pravděpodobností leží.

## Bodový odhad

Náhodný výběr  $x_1, x_2, \dots, x_n$  pocházející z nějakého rozdělení pravděpodobnosti je definován distribuční funkcí  $F(x, \theta)$ , kde  $\theta$  značí neznámý parametr. Bodový odhad parametru  $\theta$  se značí  $\hat{\theta}$ .

Dobrý bodový odhad musí splňovat určité vlastnosti:

1. Nestrannost (nevychýlenost, nezkreslenost) – odhad je nestranný, pokud se jeho střední hodnota rovná hledanému parametru  $E(\hat{\theta}) = \theta$ .
2. Vydatnost (eficience) – nestranný odhad, jehož rozptyl je nejmenší mezi rozptyly všech nestranných odhadů příslušného parametru, se nazývá nejlepší nestranný (vydatný, eficientní) odhad.
3. Konzistence – odhad je konzistentní, pokud se s rostoucím rozsahem výběru zpřesňuje, k čemuž dochází pokud:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E(\hat{\theta}) = \theta \text{ a } \lim_{n \rightarrow \infty} D(\hat{\theta}) = 0.$$

4. Dostatečnost – odhad je dostatečný, pokud obsahuje veškerou informaci o sledovaném parametru, kterou výběrový soubor poskytuje.

Výběrový průměr, který byl doposud v práci používán tyto vlastnosti splňuje.

## Intervalový odhad

Tento odhad je reprezentován intervalem  $\langle t_D, t_H \rangle$ , v němž hledaný parametr leží s předem určenou pravděpodobností (spolehlivostí), která se označuje  $(1 - \alpha)$ .

Interval spolehlivosti (konfidenční interval) pro parametr  $\theta$  se spolehlivostí  $1 - \alpha$ , kde hladina významnosti  $\alpha$ ,  $T_D$  je dolní mez konfidenčního intervalu,  $T_H$  je horní mez konfidenčního intervalu, může být:

1. Levostranný interval spolehlivosti

$$P(\theta > T_D) = 1 - \lambda. \quad (6.11)$$

2. Pravostranný interval spolehlivosti

$$P(\theta < T_H) = 1 - \lambda. \quad (6.12)$$

3. Oboustranný interval spolehlivosti

$$P(T_D \leq \theta \leq T_H) = 1 - \alpha. \quad (6.13)$$

Zpravidla se volí hladina významnosti  $\alpha = 0,05$  nebo  $0,01$ . S rostoucí spolehlivostí odhadu roste i šířka intervalu spolehlivosti.

#### Intervalový odhad střední hodnoty

Je předpokládáno, že náhodný výběr pochází z normálního rozdělení. Literatura [9] uvádí, že mohou nastat dva případy. První z nich je, že je známa směrodatná odchylka  $\sigma$  normálního rozdělení, ze kterého pochází náhodný výběr. Druhým případem je, že neznáme směrodatnou odchylku  $\sigma$  normálního rozdělení, ze kterého pochází náhodný výběr. Literatura dále uvádí, že v případech, kdy máme náhodný výběr dostatečného rozsahu ( $n \geq 30$ ), lze pro stanovení intervalového odhadu v případech, kdy neznáme  $\sigma$  použít vztah pro první případ, ve kterém neznámou směrodatnou odchylku  $\sigma$  nahradíme jejím odhadem  $s$ . Pro odhad v této práci bude tedy uvažován první případ, protože ve všech případech je k dispozici výběr dostatečného rozsahu.

Náhodná proměnná „Z“ se řídí normovaným rozdělením pravděpodobnosti a platí pro ni, že

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \cdot \sqrt{n} \rightarrow N(0,1), \quad (6.14)$$

kde:

$\bar{x}$  – výběrový průměr,

$\mu$  – střední hodnota, pro kterou se stanovuje odhad,

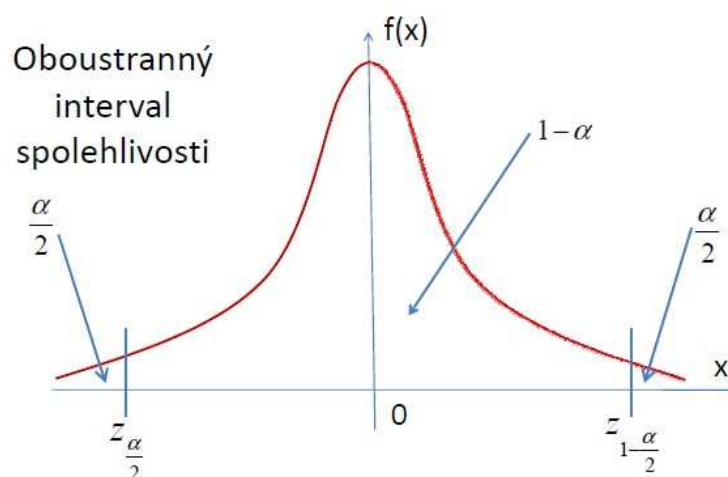
$s$  – výběrová směrodatná odchylka,

$n$  – rozsah souboru.

Vztah pro meze intervalu spolehlivosti odvodíme následujícím postupem. Zavedme si nejdříve dva kvantily a to:

- $\left(100 \cdot \frac{\alpha}{2}\right)\%$  – ní kvantil normovaného rozdělení =  $z_{\frac{\alpha}{2}}$ ,
- $100 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)\%$  – ní kvantil normovaného rozdělení =  $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ .

Na obr. č. 6.1 je vykresleno grafické odvození oboustranného intervalu spolehlivosti.



Obr. č. 6.1 Grafické odvození oboustranného intervalu spolehlivosti [10]

Na základě obr. č. 6.1 lze pro oboustranný interval spolehlivosti psát:

$$P\left(z_{\frac{\alpha}{2}} < Z < z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \alpha. \quad (6.15)$$

Za proměnnou „Z“ se dosadí a je dále upravováno:

$$\begin{aligned} P\left(z_{\frac{\alpha}{2}} < \frac{\bar{x} - \mu}{s} \cdot \sqrt{n} < z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right) &= 1 - \alpha, \\ P\left(\frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{\frac{\alpha}{2}} < \bar{x} - \mu < \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right) &= 1 - \alpha, \\ P\left(\frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{\frac{\alpha}{2}} - \bar{x} < -\mu < \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} - \bar{x}\right) &= 1 - \alpha, \\ P\left(\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} < \mu < \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{\frac{\alpha}{2}}\right) &= 1 - \alpha. \end{aligned} \quad (6.16)$$

Jelikož platí, že  $z_{\frac{\alpha}{2}} = -z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ , lze tento vztah dále upravit:

$$P\left(\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} < \mu < \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \alpha. \quad (6.17)$$

Dolní mez konfidenčního intervalu se stanoví podle vztahu:

$$T_D = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}}. \quad (6.18)$$

Horní mez konfidenčního intervalu se stanoví podle vztahu:

$$T_H = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad (6.19)$$

Hodnota kvantilu normovaného rozdělení se získá pomocí funkce v Excelu NORMSINV:

$$z_{1-\frac{\alpha}{2}} = \text{NORMSINV}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (6.20)$$

## 6.5 Postup výpočtu a výsledné hodnoty oboustranného intervalu

Výpočet dolní a horní meze konfidenčního intervalu se provádí podle výše odvozených vzorců.

Příklad výpočtu pro dolní mez konfidenčního intervalu  $T_{D1}$  průměrné délky fronty pro proud „VBJ“:

$$\bar{x}_1 = 0,194$$

$$s_1 = 0,044$$

$$n = 30$$

$$z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,959$$

$$T_{D1} = \bar{x}_1 - \frac{s_1}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 0,194 - \frac{0,044}{\sqrt{30}} \cdot 1,959 = 0,18 \text{ voz}$$

Příklad výpočtu pro horní mez konfidenčního intervalu  $T_{H1}$  průměrné délky fronty pro proud „VBJ“:

$$T_{H1} = \bar{x}_1 + \frac{s_1}{\sqrt{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 0,194 + \frac{0,044}{\sqrt{30}} \cdot 1,959 = 0,21 \text{ voz}$$

Postup řešení výpočtu  $T_{D1}$ ,  $T_{D2}$ , ...,  $T_{D10}$  a  $T_{H1}$ ,  $T_{H2}$ , ...,  $T_{H10}$  pro průměrné zdržení a výsledné průměrné zdržení na křižovatce je analogický a postupuje se podle výše uvedených vztahů. Hodnoty výběrových průměrů a směrodatných výběrových odchylek pro dané proudy jsou uloženy v Příloze C. Hodnoty pro rozsah souboru a kvantil normovaného rozdělení jsou konstantní.

Výsledné hodnoty dolní a horní meze konfidenčního intervalu průměrné délky front jsou zaznamenány v tabulce č. 6.5. Dolní a horní mez konfidenčního intervalu průměrného zdržení vozidel v jednotlivých proudech lze vidět v tabulce č. 6.6. V tabulce č. 6.7 jsou pak zaznamenány hledané parametry pro výsledné průměrné zdržení vozidel na křižovatce.



Tab. č. 6.5: Meze oboustranného intervalového odhadu pro průměrnou délku fronty

Dolní mez konfidenčního intervalu průměrné délky front [voz]									
pruh/T <sub>DX</sub>	VBJ	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
T <sub>D1</sub>	0,18	1,15	0,85	3,54	1,06	1,11	0,25	2,32	1,66
T <sub>D2</sub>	0,19	1,12	0,82	3,17	1,03	1,10	0,27	2,26	1,61
T <sub>D3</sub>	0,18	1,10	0,82	3,06	1,06	1,08	0,26	2,23	1,54
T <sub>D4</sub>	0,18	1,09	0,79	3,05	1,00	1,08	0,26	2,25	1,57
T <sub>D5</sub>	0,18	1,09	0,79	3,01	1,02	1,09	0,28	2,24	1,54
T <sub>D6</sub>	0,17	1,08	0,79	2,99	1,01	1,09	0,27	2,22	1,56
T <sub>D7</sub>	0,18	1,09	0,79	3,00	1,03	1,08	0,28	2,23	1,55
T <sub>D8</sub>	0,18	1,09	0,79	2,98	1,02	1,08	0,26	2,23	1,54
T <sub>D9</sub>	0,18	1,10	0,78	2,99	1,02	1,08	0,26	2,22	1,53
T <sub>D10</sub>	0,18	1,08	0,77	3,00	1,01	1,09	0,27	2,22	1,55
Horní mez konfidenčního intervalu průměrné délky front [voz]									
pruh/T <sub>HX</sub>	VBJ	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
T <sub>H1</sub>	0,21	1,23	0,91	3,87	1,27	1,22	0,30	2,48	1,91
T <sub>H2</sub>	0,21	1,18	0,87	3,31	1,13	1,17	0,31	2,35	1,72
T <sub>H3</sub>	0,20	1,16	0,87	3,17	1,12	1,14	0,29	2,31	1,64
T <sub>H4</sub>	0,20	1,14	0,83	3,14	1,04	1,11	0,30	2,31	1,66
T <sub>H5</sub>	0,19	1,14	0,82	3,10	1,08	1,12	0,31	2,31	1,61
T <sub>H6</sub>	0,19	1,13	0,82	3,07	1,07	1,12	0,30	2,30	1,63
T <sub>H7</sub>	0,20	1,13	0,82	3,08	1,07	1,12	0,30	2,29	1,62
T <sub>H8</sub>	0,19	1,12	0,82	3,05	1,08	1,11	0,29	2,29	1,61
T <sub>H9</sub>	0,20	1,14	0,82	3,07	1,08	1,12	0,29	2,27	1,60
T <sub>H10</sub>	0,19	1,12	0,80	3,06	1,08	1,12	0,30	2,28	1,63

Tab. č. 6.6: Meze oboustranného intervalového odhadu pro průměrné zdržení vozidel

Dolní mez konfidenčního intervalu průměrného zdržení [s]									
pruh/T <sub>DX</sub>	VBJ	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
T <sub>D1</sub>	8,3	18,3	18,6	24,2	74,6	19,2	28,3	20,1	76,4
T <sub>D2</sub>	8,6	17,9	18,2	21,8	73,8	18,9	29,2	19,3	73,7
T <sub>D3</sub>	8,2	17,7	18,2	21,0	75,2	18,4	28,3	19,1	70,9
T <sub>D4</sub>	8,2	17,6	17,6	21,0	70,1	18,3	28,1	19,1	71,9
T <sub>D5</sub>	8,0	17,5	17,6	20,7	72,6	18,4	29,7	19,0	70,8
T <sub>D6</sub>	7,8	17,4	17,5	20,6	72,0	18,4	29,3	18,9	71,8
T <sub>D7</sub>	8,3	17,4	17,5	20,6	72,6	18,3	29,8	18,9	71,2
T <sub>D8</sub>	8,1	17,5	17,5	20,4	71,9	18,3	28,5	19,0	70,6
T <sub>D9</sub>	8,4	17,8	17,5	20,5	71,9	18,3	28,5	18,8	69,6
T <sub>D10</sub>	8,2	17,4	17,1	20,5	71,4	18,4	28,9	18,9	70,8
Horní mez konfidenčního intervalu průměrného zdržení [s]									
pruh/T <sub>HX</sub>	VBJ	VB	KB	VC	VG	VD1	VD2	VA	VE
T <sub>H1</sub>	9,3	19,3	19,8	26,1	85,0	20,6	31,4	21,0	84,5
T <sub>H2</sub>	9,6	18,5	19,0	22,6	78,4	19,7	32,6	19,9	77,3
T <sub>H3</sub>	9,2	18,4	19,1	21,6	78,7	19,1	30,7	19,6	73,8
T <sub>H4</sub>	9,0	18,2	18,4	21,4	73,0	18,8	31,4	19,6	75,2
T <sub>H5</sub>	8,7	18,1	18,1	21,2	76,3	19,0	32,4	19,5	73,2
T <sub>H6</sub>	8,8	18,0	18,2	21,0	75,7	19,0	32,0	19,3	74,1
T <sub>H7</sub>	9,1	18,0	18,2	21,1	74,8	18,9	32,3	19,3	73,3
T <sub>H8</sub>	8,9	18,0	18,2	20,8	75,1	18,8	31,9	19,3	73,0
T <sub>H9</sub>	9,2	18,2	18,1	20,9	74,8	18,8	30,8	19,2	72,4
T <sub>H10</sub>	8,8	17,9	17,7	20,9	75,0	18,9	31,6	19,2	73,6

Tab. č. 6.7: Dolní a horní meze oboustranného intervalového odhadu průměrného zdržení vozidel na křižovatce

Výsledné průměrné zdržení na křižovatce			
Dolní mez konfidenčního intervalu VPZ		Horní mez konfidenčního intervalu VPZ	
$T_{DX}$	VPZ [s]	$T_{HX}$	VPZ [s]
$T_{D1}$	25,2	$T_{H1}$	25,9
$T_{D2}$	23,7	$T_{H2}$	24,1
$T_{D3}$	23,2	$T_{H3}$	23,5
$T_{D4}$	23,0	$T_{H4}$	23,3
$T_{D5}$	22,9	$T_{H5}$	23,1
$T_{D6}$	22,8	$T_{H6}$	23,0
$T_{D7}$	22,8	$T_{H7}$	23,1
$T_{D8}$	22,7	$T_{H8}$	23,0
$T_{D9}$	22,7	$T_{H9}$	22,9
$T_{D10}$	22,7	$T_{H10}$	22,9

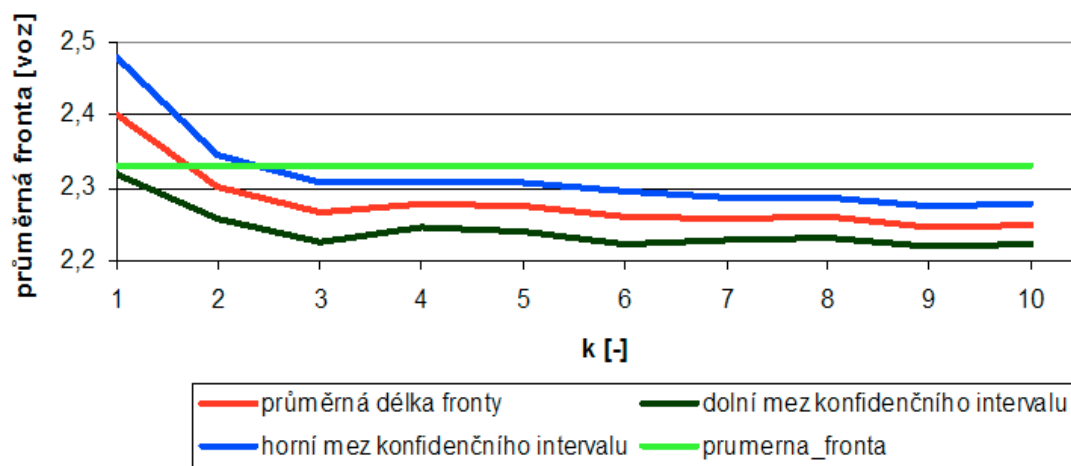
Sledované charakteristiky budou srovnány s předcházejícím experimentem zaznamenáním do grafů, které budou vykresleny v následující podkapitole.

## 6.6 Srovnání experimentů zanesením hledaných charakteristik do grafů

V této podkapitole budou vykresleny grafy závislosti průměrné délky front a průměrného zdržení vozidel v určitém řadícím pruhu na parametru tvaru  $k$ . Spolu s těmito charakteristikami jsou v grafu zakresleny dolní a horní meze konfidenčního intervalu. Do grafu jsou rovněž zaznamenány hodnoty proměnných „Prumerna\_fronta“ a „Prumerne\_zdrzeni“, který byly popsány v podkapitole 4.2 viz str. č. 36. Jelikož hodnoty těchto proměnných v modelu vyšly v minutách, bylo je zapotřebí k sjednocení jednotek v grafu převést na sekundy. Hodnoty těchto proměnných jsou uloženy v modelu, v grafu jsou označeny pojmem „Prumerna\_fronta“, „Prumerne\_zdrzeni“.

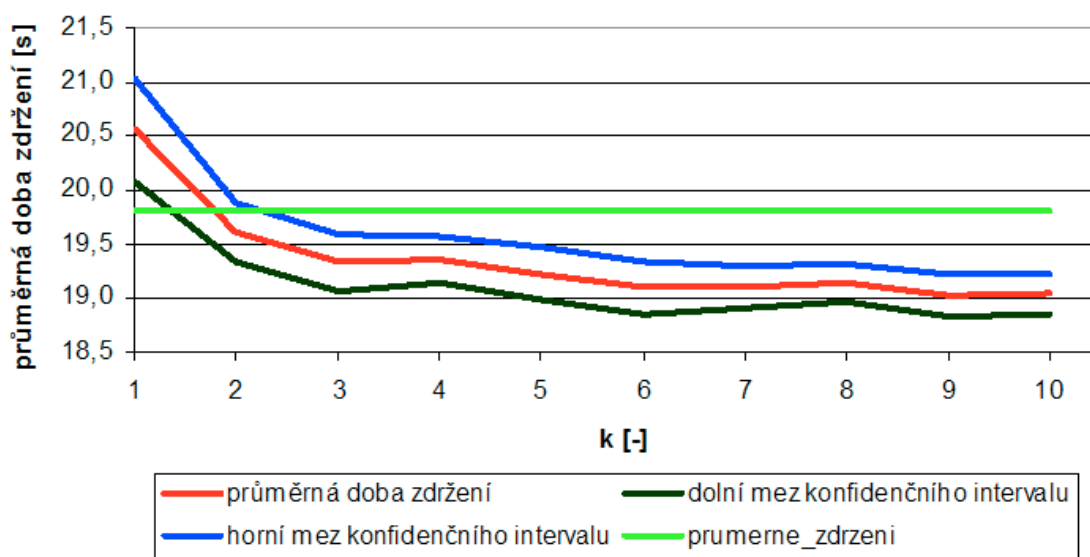
Níže budou vykresleny grafy pro proud „VA“, grafy ostatních dopravních proudů jsou uloženy v Příloze C.

Na obr. č. 6.2 je zobrazen graf závislosti průměrné délky fronty na parametru tvaru  $k$  pro řadící pruh „VA“.



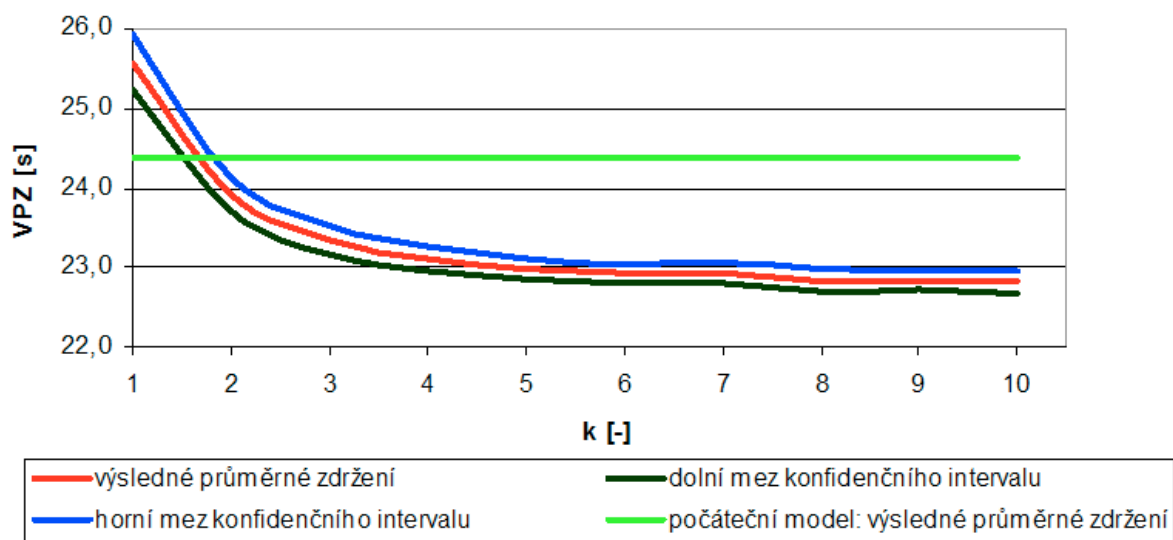
Obr. č. 6.2 Závislost průměrné délky fronty na parametru tvaru  $k$  pro proud „VA“

Na obr. č. 6.3 lze vidět graf závislosti průměrného zdržení na parametru tvaru  $k$  pro řadící pruh „VA“.



Obr. č. 6.3 Závislost průměrného zdržení na parametru tvaru  $k$  pro proud „VA“

Na obr. č. 6.4 je zobrazen graf závislosti výsledného průměrného zdržení vozidel na parametru tvaru  $k$  řešené křižovatky“.



Obr. č. 6.4 Závislost výsledného průměrného zdržení vozidel na parametru tvaru  $k$  řešené křižovatky

Z výsledných grafů je patrné, že s rostoucím parametrem tvaru  $k$  sledované charakteristiky klesají.

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit model vybrané světelné křižovatky v programu Witness a na základě získaných dat z provozu následně tento model validovat.

Úvodní část této práce byla zaměřena na charakteristiku křižovatky a dopravní průzkum. Dopravní průzkum byl uskutečněn ve třech dnech, byl proveden na základě vlastního pozorování. Na základě zmíněného průzkumu byla získána data, se kterými se pracovalo při samotném sestavení modelu. Získanými daty byly vstupní intenzity vozidel v jednotlivých proudech a také se rozlišoval druh vozidla z důvodu odlišných vstupních časů. Rovněž byly měřeny průměrné počty vozidel, stojících v řadě za sebou v daných proudech při rozsvícení signálu volno, které budou sloužit k validaci.

V prostřední části této práce bylo pracováno s modelem. Tato kapitola zahrnuje popis prvků, ze kterých je model složen, dále jsou popsány jednotlivé vstupní, výstupní a pomocné proměnné, případně atributy. Vstupní intenzity vozidel v jednotlivých proudech získané měřením simulovaly příjezdy vozidel ke křižovatce. Z poskytnutého signálního plánu bylo vykresleno fázové schéma a také byly z tohoto plánu zaznamenány začátky a konce signálu dovolujícího jízdu vozidel v daných řadících pruzích. Tyto začátky a konce budou v modelu reprezentovat dobu, kdy bude vozidlu umožněn vjezd do křižovatky. Po sestavení modelu byla uskutečněna simulace. Simulací bylo zapotřebí zjistit, zda naměřené počty vozidel při prováděném dopravním průzkumu vyjadřují uspokojivou míru shody se simulačními výsledky. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce byla stanoveno, že případné odchylky by se měly pohybovat do 20%. K největší odchylce 15,6% došlo u proudu „VG“, naopak k nejmenší u proudu „KB“ a to 0,5%. Z výsledných odchylek lze částečně vypořádat, že s vyšší intenzitou provozu výsledná odchylka klesá. Nastolená podmínka pro validaci byla splněna, tudíž byl model validován.

V závěrečné části práce byly provedeny experimenty věnované vlivu charakteru vstupního toku vozidel na průměrnou dobu zdržení a průměrnou délku fronty. Pro sledované charakteristiky byly také vypočítány oboustranné intervalové odhady. Výsledky těchto experimentů byly zaneseny do příslušných grafů. S rostoucím parametrem tvaru  $k$  hledané

charakteristiky klesaly. Také lze z grafů vidět, že mezi jednotlivými experimenty byly pouze nepatrné rozdíly, což se dalo předpokládat.

Tato práce by se dala v budoucnu rozšířit po menších úpravách s použitím Wittnes Optimizer tak, že by následně model našel optimální signální plán. Rovněž by se daly zohlednit dynamické vlastnosti vozidel a pak porovnat výsledky modelu s dynamickými vlastnostmi s vlastnostmi z původního modelu. V neposlední řadě by mohl být aplikován dynamický signální plán.

## Seznam použité literatury

- [1] Křivda, V. *Základy organizace a řízení silniční dopravy*, 1. vyd., Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006, 170s. ISBN 80-248-1253-3
- [2] *Technické podmínky TP81 – Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu*, Brno: Centrum dopravního výzkumu, 1966, 111s. ISBN 80-902141-2-6
- [3] *Signální plán* [online]. Dostupné na WWW:  
<[http://www.putprojekt.com/img/162406\\_signalni\\_plan.jpg](http://www.putprojekt.com/img/162406_signalni_plan.jpg)>  
[cit. 5. duben 2011]
- [4] *Mapa křižovatky* [online]. Dostupné na WWW:  
<<http://mapy.cz/#mm=ZTtTcP@x=141882944@y=134931072@z=14>>  
[cit. 15. listopad 2010]
- [5] Ing. Laštůvka, Miroslav. *Osobní sdělení*. Ostravské komunikace, a.s. Oddělení dopravního inženýrství.  
[cit. 18. listopad 2010]
- [6] *WITNESS – Simulace podnikových procesů* [online]. Dostupné na WWW:  
<<http://www.humusoft.cz/produkty/witness/simulace/>>  
[cit. 6. leden 2011]
- [7] Humusoft, *WITNESS – Úvod do použití*, Humusoft s.r.o., 2006, 39s.
- [8] *Spojité rozdělení pravděpodobnosti* [online]. Dostupné na WWW:  
<[http://home1.vsb.cz/~dom033/predmety/statistika/ucebni\\_text/8SNV.pdf](http://home1.vsb.cz/~dom033/predmety/statistika/ucebni_text/8SNV.pdf)>  
[cit. 8. březen 2011]
- [9] Litschmannová, Martina. *Úvod do statistiky* [online]. Ostrava, VŠB – TU Ostrava, 2011. Dostupné na WWW:

<[http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod\\_do\\_statistiky.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod_do_statistiky.pdf)>

[cit. 11. březen 2011]

- [10] Dorda, Michal. *Odhady parametrů základního souboru* [online]. Dostupné na WWW:

<[http://homel.vsb.cz/~dor028/KMORII\\_2.pdf](http://homel.vsb.cz/~dor028/KMORII_2.pdf)>

[cit. 13. březen 2011]



## **Seznam příloh**

- |           |   |
|-----------|---|
| Příloha A | Naměřené intenzity vozidel a naměřené vozidla, při rozsvícení signálu volno pro všechny řadící pruhy – přiloženo na CD  |
| Příloha B | Signální plán P2  |
| Příloha C | Grafy závislosti sledovaných charakteristik pro všechny proudy, hodnoty výběrových průměrů a směrodatných výběrových odchylek pro jednotlivé proudy – přiloženo na CD |
| Příloha D | Simulační model, model s uskutečněným experimentem – přiloženo na CD  |

## Příloha B Signální plán

Signální plán je rozdělen na dvě části z důvodu větší přehlednosti.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

C - není signál volno  
 1 - červenozlutý signál  
 1 - žlutý signál  
 Z - minimální doba zeleného signálu  
 z - doba dobíhajícího zeleného signálu do konce probíhající dopravní fáze (neurčuje její délku) nebo doba vyznačující probíhání zeleného signálu do další dopravní fáze na mezičáry  
 > - oblast zeleného signálu určená pro jeho prodloužení  
 N - náhradní doba zeleného signálu při identifikované poměrně detektoru  
 X - určuje, že signální skupina je pouze na výzvu  
 V - určuje, že signální skupina je na výzvu a pouze tato skupina vyvolává tuto dopravní fázi